

· 勘探技术 ·

胜利油区时移地震技术应用研究与实践

王延光

(中国石化股份胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022)

摘要: 以胜利油区继承性数据和开发阶段最新采集的三维地震数据为实例, 探讨了时移地震的可行性实践, 研究了多次采集的地震数据在开发中的应用。分析了引起采集地震数据不一致的因素, 并进行叠前的一致性处理及叠后的互均化处理, 消除由于采集、处理不一致对地震数据在能量、频率、相位等方面的影响, 突出油藏变化带来的地震属性差异; 与生产动态数据相结合, 分析油藏的连通性以及剩余油分布, 指导注采方案调整, 最终达到提高采收率的目的。胜利油区的探索实践表明, 时移地震可以有条件地开展实际试验研究与应用, 如何利用重新采集的高精度三维地震数据并综合油藏工程等技术解决更多的开发难题是一个策略问题。在油田开发实际应用中应当协同考虑时移和多次采集地震数据 2 方面的研究与应用。

关键词: 时移地震 多次采集地震 一致性处理 互均化处理 差异地震数据 胜利油区

中图分类号: P631.42

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)01-0050-05

时移地震就是利用多次不同时间采集的三维地震数据, 观测油藏生产引起的变化^[1-2]。近年来这种应用实例越来越多, 如英国石油公司(BP)在北海Vallhall连续6次采集了以6个月为时间间隔的时移地震数据^[3-4], 时移地震技术已经从试验阶段发展到实际应用阶段, 还有不少国外时移地震成功的案例(如北海和墨西哥湾地区等), 专家预测, 21世纪时移地震方法的应用将使采收率提高到65%~75%, 甚至更高。

20世纪90年代胜利油区曾进行了时移地震的尝试, 虽然在稠油热采监测方面展示了初步效果, 但目前这项技术在中国仍处于探索、试验阶段。油气主产区的中国东部地面环境异常复杂, 地震采集的可重复性面临严峻挑战; 陆相沉积构造储层复杂、变化快, 油藏厚度薄, 能否取得理想效果需要进行深入的可行性分析, 因此开展严格意义的时移地震仍然面临很多实际问题。然而, 多数老油田拥有大量的多次采集数据(如胜利油区已经完成了10余个区块的三维地震二次采集), 而且将来还要进行多次采集。充分应用这些数据研究时移地震的可行性意义重大: ①创新研究互均化等处理方法可消除非地质因素对油藏地震响应的影响, 与基础观测数据比

较分析, 可确定油气藏随时间的变化规律; ②研究未来重新采集时, 可指导设计、开展时移地震, 并与生产相结合, 寻找剩余潜力, 改善开发效果。为此, 近几年胜利油区开展了大量针对多次采集、高精度采集地震资料的探索研究与应用工作, 取得了初步成果和认识。

1 时移地震方法及实现

理论上讲, 可以利用不同时间测量的地震数据属性之间的时间延迟、能量、带宽、相位等差异变化来研究油气藏特性, 从而达到油藏检测、动态管理、改善开发效果的目的。然而, 时移地震是一个庞大的系统工程, 且导致地震属性差异的因素很多(如采集环境、采集方法、处理因素等), 对非完全重复的多次采集的地震资料而言, 则更是如此。因此, 如何去除非油藏变化带来的影响, 获得由于油藏变化引起的差异地震数据, 以及如何应用差异数据表征油藏变化, 成为时移地震在胜利油区开展应用的关键。

1.1 时移地震数据处理

在充分了解野外采集影响地震资料重复性的因

收稿日期: 2011-11-07。

作者简介: 王延光, 男, 教授级高级工程师, 博士, 从事地球物理勘探与开发研究。联系电话: (0546) 8554685, E-mail: wangyanguang_slyt@sinopec.com。

基金项目: 国家“863”项目“油藏综合地球物理技术”(2007AA060500), 中国石化重大先导试验“油藏综合地球物理技术应用先导试验”(P07088)。

素、明确目的层范围的基础上,保持处理流程的一致性、使用相同的偏移距范围和覆盖次数、选择合理的偏移速度和偏移算法、保幅处理方法(特别注意反褶积、振幅标定、多次波消除、噪音压制等)以及叠前一致性、叠后互均化处理等。非重复性多次地震数据采集的主要步骤包括:①原始资料分析。对观测系统的差异性、采集因素、频率、噪音、能量等进行分析,以制定相应的处理准则。②面元重置与去噪处理。解决2次或以上采集由于观测系统或方式的差异带来的误差,采用目前常用的线性插值法、相关抽道法、频域插值法或动态求差插值法等,将不同观测系统采集到的地下不同反射面元或反射点的地震数据校正成同一反射面元或反射点的数据。选取相应的处理方法去除噪声,以消除非重复性噪声的影响。③一致性处理。当采集条件以及观测系统存在差别时,须对多次采集的地震数据进行一致性重处理,以最大限度的消除采集环境、采集方法不一致的影响,提高2次地震数据的一致性。④叠后互均化处理。经过一致性处理后,振幅、相位频率仍然存在差别时,有必要进一步进行互均化处理,目前主要采用的方法有标志层法、窗口法、振幅相位分离匹配法等,从而减少非油藏因素对地震差异的影响。⑤地震敏感差异属性求取。对经过互均化处理后的地震数据进行差异求取,如最大/最小振幅、均方根振幅差、平均振幅差等,结合岩石物理、油藏动态数据确定何种差异属性对油藏的变化比较敏感。需强调的是 consistency 及叠后互均化处理,针对不同的数据体可以在流程中进行调整,如在继承性数据条件下,可以先进行互均化处理及差异提取,以分析导致各种差异的原因,从而为一致性处理提供参考。

1.2 差异地震数据分析

地震差异简单而言是2次地震体相减,可以根据数据体条件选择相减方式,如采样点求差、窗口内属性求差等。差异地震数据分析是以岩石地球物理为基础,通过多尺度地球物理资料解释、模型建立、生产动态数据整合、油藏数值模拟等融合,与多次采集数据体求取的地震敏感差异属性相结合,合理解释其差异性,从而确定油藏的变化特性。

从多次采集地震数据体的互均化处理、差异求取,到动态数据整合及分析二者的一致性,是一个反复比较、分析、迭代的过程。可以根据区块开发生产的实际,分析判断地震差异和动态数据间一致程度的合理性,再返回修改一致性处理、互均化处理、差异求取的参数,直到二者一致。根据引起不一致的

因素,返回到相应的处理流程中,可以进一步认识各种差异的来源,并反复验证代表油藏变化的地震属性的差异。

2 实例分析

2.1 继承性多次采集地震数据的综合应用实践

W91 区块的地震资料分别是在 1991 年和 2002 年采集的。该区块主力产层为沙四段碎屑岩,砂体小,压力下降快。综合应用 2 套地震数据,对地震数据处理方法进行验证,以确认其能否获得反映油藏变化的相对可信的地震差异。

虽然 2 次采集有相同的覆盖,且采集方向基本一致,但两者差别较大。以 W91 区块 T_0 层为参考,首先,通过滤波使 2 次数据的频率基本一致;然后,沿 T_0 层求取 2 次地震采集数据的匹配因子,并求差。通过沿目的层开窗求取差异,可获得各层的属性差异。结果显示, T_0 和 T_4 的关系是符合时移地震准则的。 T_0 为非储层, T_4 为主要生产层,其差异主要分布在生产井附近。然而,这些差异是否代表了油藏的变化,还需要进一步核实。

为落实差异的可信度,用 W91 区块的测井数据对岩石物理模型进行标定。结果表明,主要差异分布在 W91 井周围,故选择 W91 区块的砂体进行解剖,建立砂体模型,通过数值模拟,拟合区内开发井的生产历史,获得空间上更具有代表性的砂体物性分布,最后应用标定的岩石物理模型正演地震差异分布,与处理的差异形态基本一致。说明处理后的实际地震差异具有合理性,利用其差异观测油藏的变化具有一定的可行性。

2.2 现今高精度与历史三维地震数据的联合应用实践

目前,在老区重复采集的高精度三维地震数据,采集、处理方式与以往已采集的地震数据有很大区别,这种情况是很普遍的,研究如何与生产结合来改善开发效果,具有重要的现实意义^[5]。

2005 年重新采集高精度地震数据时,K71 区块已经钻井 164 口。该区块储层为新近系复杂薄互层,以岩性-构造油藏为主,砂体单层厚度变化大,一般为 1~8 m,单层厚度小于 6 m 的砂体占总层数的 79.3%。高含水期剩余油分布复杂,采用常规方法很难查清。

完全基于差异巨大的 1993 年和 2005 年 2 次采集的地震数据来解决开发问题存在很多问题。对

此,研究采用了以2005年采集的地震数据为主,逐渐推算油藏原始状态的方法(准时移地震方法)^[4]。首先,反演获得2005年油藏的波阻抗,通过建立模型,确定原始的油水界面,在标定岩石物理模型的基础上,恢复原始状态的波阻抗,即1993年对应的波阻抗。这个过程中,需要通过调整孔隙度、砂泥比等,使恢复的波阻抗最大限度地逼近1993年的观测记录。这样就形成了2个地震相似性大大改善的时移数据体。其次,采用时移地震处理方法取得2次地震数据的差异,进一步和动态数据进行对比。应注意采用随机建模方法时,模型的局部随机变化可能对差异分析产生一定的影响。由2次地震数据沿目的层求差结果(图1)可见,差异较大值集中在主要的生产井和注水井附近,且呈带状和片状分布,初步分析与注水的影响有关。

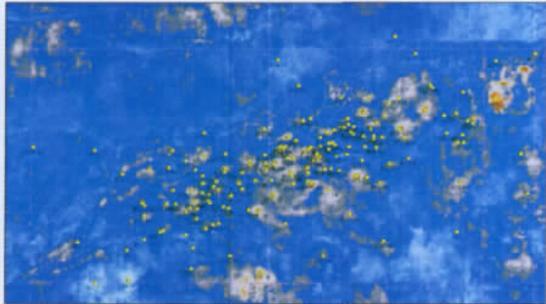


图1 1993和2005年K71区块采集地震数据的沿层振幅差异

应用大量的注水井和生产井动态数据,通过计算其连通性,并与2005年的地震属性(RMS)进行对比,发现连通性强的区域RMS振幅较弱,而连通性强、RMS振幅也强的区域主要在断层附近,分析是受储层厚度的影响。对于已开发油田采集的地震数据,将动态数据或属性与地震属性结合,可进一步解释地震信息,并挖掘其对开发的价值。

2.3 多次采集数据一致性处理的实践

多次采集数据的应用研究表明,时移地震在胜利油区有一定的可行性,然而如何减小这些原始数据的差异性、提高地震数据本身一致性是实现时移地震应用的关键,也是提高采收率的重要手段之一^[6-12]。对于YX地区二次采集的地震数据,通过叠后互均化处理^[7-14]、分析地震属性差异可能对应的因素、进一步探索一致性处理的方法,从根源上提出提高资料一致性的解决方案,最终形成适用于胜利油区的叠前一致性、叠后互均化处理的系列流程。

YX地区的Y3区块沙二段发育构造油藏,沙三段发育岩性油藏,从1965年投入开发,大致分为4

个阶段:试采、天然能量开发阶段(1969—1977年),初期注水阶段(1978—1982年),综合调整上产阶段(1983—1995年),注采调整、产量递减阶段(1996年至今)。在第3和第4开发阶段采集的原始地震数据在能量、频率、相位等方面存在很大差别(图2a),主要原因包括:①针对的地质任务不同;②采集参数完全不同;③采集仪器不同;④地表条件以及潜水面发生了变化。显然以此数据为基础的地震属性差异不能有效反映油藏的真实变化。因此,必须对地震数据进行一致性处理,最大限度地消除采集差别以及地表条件变化等因素带来的影响。

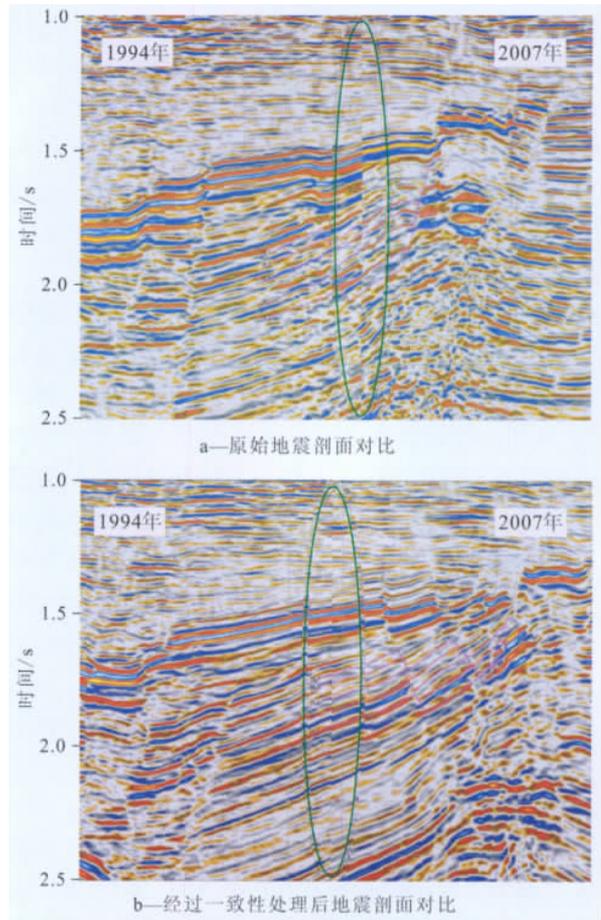


图2 1994年和2007年地震剖面一致性处理前后对比

针对上述差异,对1994年和2007年的地震数据进行叠前一致性及叠后互均化处理,然后求取地震属性差异;通过油藏模型对地震属性差异进行正演,并和实际地震属性差异进行对比。经过一致性处理后,地震剖面的相似性大幅度提升(图2b),地震属性差异与油藏模型正演的差异,以及对应井的分布,吻合程度较好(图3)。说明对多次非重复性采集数据形成的叠前、叠后一致性处理的流程是适用、有效的。

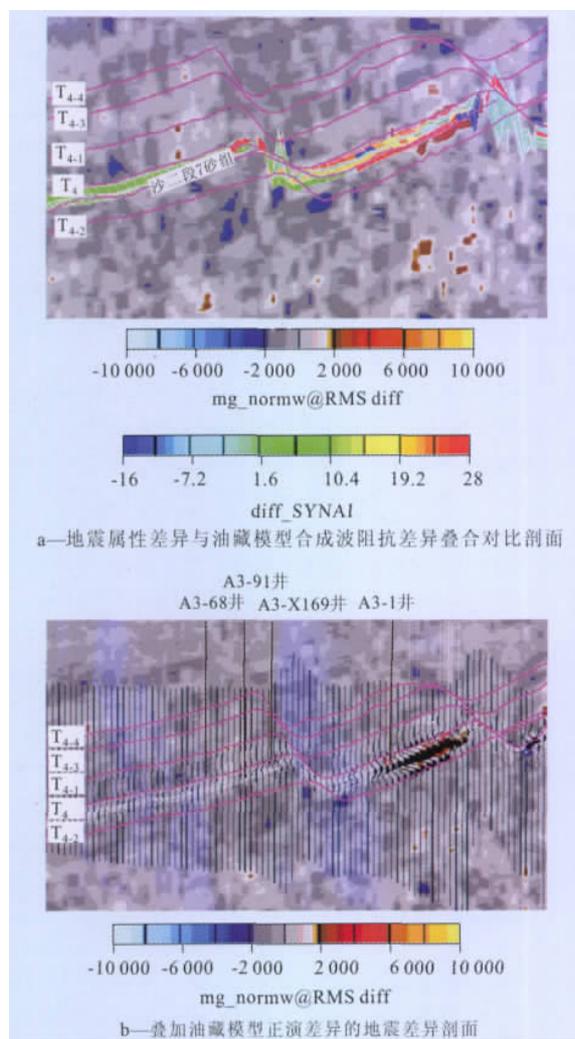


图3 一致性处理后地震属性差异与油藏模型对比剖面

2.4 开发中后期高精度三维地震应用实践

不同于勘探阶段的三维地震,经过多年的开发,综合大量的动静态资料,地质体目标基本清楚,采集精度更高、针对性更强的三维地震数据目的就是提高油藏认识、确定剩余油分布,这与时移地震的目标是一致的,因此可以作为时移地震的一部分来进行研究应用。

研究的思路是综合利用各种不同尺度的地球物理资料,改进和完善当前的油藏数值模拟技术,最大限度地利用地球物理和油藏开采信息,各种信息互为约束、相互检验,在历史拟合过程中约束模型的更新,使模型不仅能保持生产过程和油田动态观测数据的一致;同时尽可能地保持地质属性与井条件一致,与沉积规律一致,与地球物理描述的空间变化一致,从而达到精细刻画储层非均质性、确定油藏流体分布、从本质上改善对油藏认识的目的。主要过程为:①通过高精度地震叠前反演,得到多种叠前反演

属性;②利用地质属性和井资料标定得到岩石物理模型模板;③基于油藏数值模拟,利用岩石物理模型模板搜寻叠前反演属性对应的空间流体分布,以此约束油藏模型的历史拟合,得到更加准确的油藏流体分布。

以Y3区块为例,在叠前地震保幅处理和偏移归位的基础上,结合地质、测井等资料,反演储层的纵波和横波速度及密度等参数,把求取得到的多种叠前地震属性投影到油藏模型的网格上;利用区块内纵波和横波测井数据对岩石物理模型进行标定,得到反映油藏和地球物理信息的多组岩石物理解释量版;应用标定后的岩石物理模型搜寻叠前地震属性对应的三维空间流体分布,得到目的层段含油饱和度剖面(图4)。以此对原油藏数值模型进行约束,最后得到与地质属性、井条件和地球物理信息更加吻合的剩余油分布。实钻结果表明,描述的剩余油分布对该区块油藏下一步挖潜具有重要的指导意义。

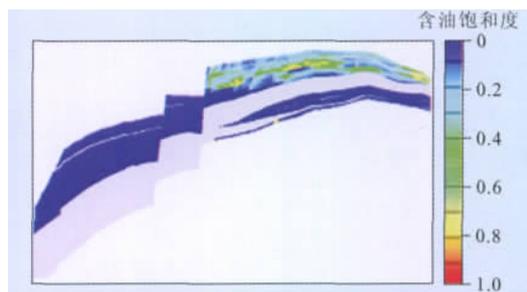


图4 Y3区块含油饱和度剖面

3 结束语

虽然时移地震技术在胜利油区尚未规模采集和应用,但是综合利用多次采集以及现今高精度的地震数据,在解决开发问题方面创造性地开展了卓有成效的应用研究与实践工作,并取得了一些重要进展和初步成果。

研究实例表明,油田的开发生产会引起一定程度的地震属性差异,利用多次采集的数据,通过建立的时移地震技术应用流程,即在岩石物理研究的基础上,从预处理、时移处理、差异求取,到动态数据标定,通过数值模拟验证,并反复迭代循环,认识各种差异、监测油藏的变化具有一定可行性。

研究采用的以现今高精度数据为主、逐渐推算原始状态的方法,也可以称之为准时移地震方法,虽然不如时移地震属性差异的方法直接,但通过恢复

虚拟的时移数据,或者直接和动态结合,是一种解决开发生产问题的中间方案,并展现出较好的发展前景。形成的叠前一致性、叠后互均化处理流程对多次非重复性采集地震数据的应用是适用、有效的。需要说明的是,流程中从一致性处理到互均化处理、差异求取和动态数据结合是一个反复迭代、有机结合的整体过程。

最大限度地利用多种尺度的地球物理和油藏开采信息,各种信息互为约束,相互检验,能够改善油藏地质建模效果,可以改进和完善常规的油藏数值模拟技术,从而有助于认识剩余油分布,提高储量动用率和油气采收率。

基于前期研究与实践,地震技术应用于开发过程中,除了采集、处理的新技术外,还要跳出勘探过程中解释和应用地震技术的思路,要更注重和油藏、动态信息的结合,才能有效地发挥地球物理技术的潜力,从而进一步地完善、形成有效适用的油藏地球物理技术。

致谢:在方法研究与实践过程中,一直得到中国石化油田事业部、科技发展部、胜利油田科技处、物探院、地质院、东辛采油厂、孤岛采油厂、中国石油大学等单位的领导和专家的大力支持和帮助,特别是相关项目组研究人员完成了大量的实物工作,在此一并致谢。

参考文献:

[1] 黄旭日. 国外时移地震技术的研究状况 [J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(1): 7-12.
 [2] Lane H S, Kjelstadli R M, Barkved O I, et al. Constraining reservoir uncertainty with frequent 4D seismic data at Valhall field [R]. Houston, USA: Offshore Technology Conference, 2006.

[3] Hatchell P, Kawar R, Savitski A. Integrating 4D seismic, geomechanics and reservoir simulation in the Valhall oil field [R]. Expanded Abstracts of EAGE 67th Annual Conference, 2006.
 [4] Lumley D E, Behrens R A, Wang Z. Assessing the technical risk of a 4-D seismic project [J]. The Leading Edge, 1997, 16(9): 1 287-1 291.
 [5] 凌云, 黄旭日, 孙德胜, 等. 3. 5D 地震勘探实例研究 [J]. 石油物探, 2007, 46(4): 339-352.
 [6] Huang X R, Meister L, Workman R. Improving production history matching using time-lapse seismic data [J]. The Leading Edge, 1998, 17(10): 1 430-1 433.
 [7] Rickett J. A cross equalization processing flow for off the shelf 4-D seismic data [C]. Tulsa: SEG 68th Annual Meeting, 1998.
 [8] Huang X R. Integrating time-lapse seismic with production data: a tool for reservoir engineering [J]. The Leading Edge, 2001, 20(10): 1 148-1 153.
 [9] Hall S A, MacBeth C, Stammeijer J, et al. Time-lapse seismic analysis of pressure depletion in the Southern Gas Basin [J]. Geophysical Prospecting, 2006, 54: 63-73.
 [10] Landro M, Solheim O A, Hilde E, et al. The Gullfaks 4D seismic study [J]. Petroleum Geoscience, 1999, 5(3): 213-226.
 [11] 吴安楚. 宽方位三维地震采集设计技术应用 [J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 65-67.
 [12] Andersen C F, Grosfeld V, Van Wijngaarden A J, et al. Interactive interpretation of 4D prestack inversion data using rock physics templates, dual classification, and real-time visualization [J]. The Leading Edge, 2009, 28(8): 898-906.
 [13] Huang X R, Meister L, Workman R. Improvement and sensitivity of reservoir characterization derived from time-lapse seismic data [C]. Expanded Abstracts of 73rd SPE Annual Meeting, 1998, 49: 146.
 [14] Degaard E, Avseth P. Interpretation of elastic inversion results using rock physics templates [R]. Expanded Abstracts of EAGE 65th Annual Conference, 2003.

编辑 武云云



common types of low resistivity reservoirs, and summarize its inherent rule. The identification principles are using the conventional logging data as the basis, and supplemented by the geochemistry and gas-logging information, and supported by the regional oil and gas accumulation and distribution.

Key words: low resistivity oil layers; exploration practice; microscopic mechanism; geological genesis; evaluation method; Shengli oilfield

Yao Fengying, Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China

Sun Hai, Yao Jun, Sun Zhixue et al. Recent development and prospect on numerical simulation of shale gas reservoirs. *PGRE*, 2012, 19(1): 46-49

Abstract: Shale gas reservoirs are important unconventional reservoirs. Numerical simulation has played important role on the development of shale gas. In this paper, the recent development of numerical simulation of shale gas is reviewed and the future trends are given. The gas storage and transport mechanisms in shale gas reservoirs and the methods describing the gas flow in shale pores are discussed. The current numerical simulation models such as dual continuum model, multi-continuum model and effective continuum model are summarized. In addition, the shortcomings of the existing numerical simulation methods are pointed out and the prospect of numerical simulation methods of shale gas is explored. The future shale gas numerical simulation should be developed in the following three aspects: firstly, the shale gas numerical simulation models should take into account of gas-water two phase transport mechanisms; secondly, the distribution of organic matter in shale and the gas-water transport mechanisms in organic matter should be studied and considered in the numerical models; thirdly, the adsorbed gas transport mechanism in shale should be studied and numerical models should consider the transport mechanism.

Key words: shale gas; numerical simulation; storage; migration; trend

Sun Hai, School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266555, China

Wang Yanguang. Study and application of time-lapse seismic in Shengli oilfield. *PGRE*, 2012, 19(1): 50-54

Abstract: In this paper, the author takes the old dataset and the newly-acquired 3D dataset in the development stage from Shengli oilfield as an example, on one hand, the feasibility of time-lapse seismic has been discussed, on the other hand, the application of the multiple acquisition dataset in the oilfield development has been explored as well. Concerning the inconsistencies to the multiple seismic data acquisition and processing as well as inconsistencies in the analysis later on, the prestack consistency and post-stack cross-equalization processing are applied in order to eliminate the effects to the energy, frequency and phase of the seismic data caused by inconsistencies between acquisition and processing, and make the difference caused by the reservoir more evident. Integrating with the dynamic production data, we try to analyze reservoir continuity and residual oil distribution as well as the adjustment of the injection-production scheme, so as to achieve the EOR. Based on the application in Shengli oilfield, it indicates that the time-lapse seismic can be applied in certain favorable and feasible conditions. Furthermore, it is a strategic issue on how to apply the re-acquired high-precision 3D data integrated with reservoir engineering to solve more development problems. The two aspects of time-lapse (multiple acquisition) seismic application in the oilfield development should be considered in a comprehensive way.

Key words: time-lapse seismic; multiple acquisition seismic; consistency processing; differential seismic data; Shengli oilfield

Wang Yanguang, Geophysical Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257022, China

Li Zhaomin, Liu Wei, Li Songyan et al. Research on in-depth profile modification of foam and microgel complex system. *PGRE*, 2012, 19(1): 55-58

Abstract: Multi-phase foam system (MFS), a new in-depth profile control agent, integrates the merits of microgel system and foam system. This paper studies the compatibility of microgel with foam, injection behaviors of foam and microgel, EOR situations of foam system, microgel system and MFS. According to the experiments: the MFS obtains the best stability in air when the concentration of microgel is 5 000 mg/L; The injection pressure of MFS exhibits a "step" ascending trend, besides absorbing on the rock pore surface, the microgels can block the formations through forming bridges in pore throats. Large pressure fluctuation which is favorable for enhancing the oil recovery occurs in the injection process of MFS. The oil recovery of MFS is higher than that of foam system and microgel system, and after MFS flooding, the ultimate oil recovery of low permeability core is higher than that of high permeability core.

Key words: microgel; foam; multi-phase foam system; heterogeneity; in-depth profile control; pressure fluctuation

Li Zhaomin, School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao City, Shandong Province, 266555, China

Kang Wanli, Liu Yanli, Meng Lingwei et al. Screening of emulsified viscosity reducer on heavy crude oil and effect evaluation of oil displacement, Yongping oilfield in Jilin. *PGRE*, 2012, 19(1): 59-61

Abstract: An emulsion with low viscosity comes into being from two immiscible phases of oil and water by the spontaneous emulsi-