

融频反演技术在J 31块薄储层预测中的应用

马成龙

中国石油辽河油田公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010

摘要:为了探索应用常规地震资料预测辽河盆地J 31块薄储层的方法,在对地震反演技术分析及提高分辨率原理的基础上,提出优势频率融合的思路,首先联合开展谱模拟反演和地震波形特征指示反演,再提取各反演结果的优势频率进行融合,并对融合后的成果数据进行解释,最后较为准确地预测了J 31块薄储层分布特征,指导下步油气勘探开发工作。研究结果表明:J 31块薄储层沿断层向东南方向展布,面积约 1.2 km^2 ,并通过J 34井钻井证实了预测结果的可靠性;基于谱模拟反演和地震波形特征指示反演结果,分别提取低频模型 $0\sim 9\text{ Hz}$ 的低频成分、谱模拟反演 $9\sim 45\text{ Hz}$ 的频率成分以及地震波形特征指示反演 $45\sim 120\text{ Hz}$ 的高频成分进行优势频率合并,可以对 8 m 左右的薄储层进行预测。该研究成果可为同类型储层预测提供借鉴。

关键词:辽河盆地;薄储层预测;融频反演;谱模拟反演;地震波形特征指示反演

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.04.013

Application of Fusion Frequency Inversion Technology in Thin Reservoir Prediction of Block J 31 in Liaohe Basin

Ma Chenglong

Liaohe Oilfield Company Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Panjin, Liaoning, 124010, China

Abstract: In order to discuss the feasibility of thin reservoirs prediction based on traditional 3D seismic data of block J 31 in Liaohe basin, the spectral simulation inversion technology and face controlled geological statistics inversion technology were used jointly based on the analysis of resolution principle and seismic inversion principle. First of all, it is necessary to carry out the rock physics analysis of target interval and carry out the spectral simulation inversion technology and face controlled geological statistics inversion technology research simultaneously. We extract the dominant frequency component from inversion results and integrate them into a data cube. Finally we interpret the outcome data and predict distribution of thin reservoirs with the threshold value. The following results have been achieved: the thin reservoir of block J 31 extends towards the southeast of the fault, with an area of about 1.2 km^2 , and the prediction results have proved to be reliable by J 34. Based on the result of spectral simulation inversion and face controlled geological statistics inversion, we extract the low frequency component $0\sim 9\text{ Hz}$ of low frequency model, the frequency component $9\sim 45\text{ Hz}$ of result of the spectral simulation inversion, the high frequency component $45\sim 120\text{ Hz}$ of result of face controlled geological statistics inversion and integrate them into a

收稿日期:2018-01-03

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地辽河坳陷中深层稠油开发技术示范工程(二期)”(2011 ZX 05053)

作者简介:马成龙(1986-),男,内蒙古兴安盟人,工程师,硕士,现主要从事石油地质综合研究及油气勘探开发方面的工作。

data cube. With this data, the 8 m thin reservoir can be predicted. This research provides reference for the prediction of same reservoir.

Keywords: Liaohe Basin; Thin reservoir prediction; Fusion frequency inversion; Spectral simulation inversion; Seismic motion inversion

0 前言

薄储层预测一直是地震勘探领域的热点问题^[1],根据 Widess 模型,在没有噪音的情况下,地震上时间厚度小于 $1/8$ 波长的薄层是无法分辨的^[2]。目前辽河油田研究对象大多是厚度小于 10 m 的薄层,而地震资料极限分辨率在 12.5 m ($1/8$ 波长)左右,且全数字三维和三维 VSP 等高分辨率地震资料极为稀少,所以探索应用常规三维地震资料进行薄储层的识别和预测技术具有较大的实际意义。目前,国内外基于常规三维地震资料进行薄储层预测的方法主要有以下三类:一是地震沉积学,它是以地震属性分析技术、 90° 相位转换技术以及地层切片技术为核心的新兴边缘学科,主要依靠地震资料横向分辨率来进行薄层的识别^[3-5],但是就目前的发展状况来看,尽管该技术解决了一些薄储层预测的问题,但其关键技术仍然存在争议,有待深入完善^[6];二是基于模型的地震反演技术,该技术从地质模型出发,采用模型优选迭代扰动算法,通过不断修改地质模型,使模型正演结果与实际地震数据达到最佳吻合,最终的反演结果理论上与测井资料的分辨率相同^[7],但该技术存在多解性,难以优选最符合地下情况的地质模型,应用受到限制^[8];三是地质统计学反演,该技术基于地质统计学理论,通过变差函数进行插值以获得高频分量来提高分辨率进行薄储层预测,但该插值方法仅为数学算法而不包含地质概念,反演结果往往与实际地质情况差别较大,使该技术的推广受到了局限^[9-12]。为此,在对提高分辨率原理及各反演算法进行分析的基础上,以地震波形特征指示反演技术和谱模拟反演技术为核心,提出了优势频率融合的思路,将各反演技术中的优势频率提取出来进行融合,以拓宽资料频带宽度,提高分辨率,进而达到预测薄储层的目的。该技术通过在 J 31 块的实际应用,实现了 8 m 砂岩储层分布的预测,并通过钻井证实了预测结果的可靠性。

1 地质背景

J 31 块位于辽河拗陷东部凹陷黄金带油田南部,整体上为一个依托鸳鸯寺断裂而形成的断裂背斜构造,内部被北东向小断层切割复杂化,面积约 20 km²。钻井资料揭示新生代地层自下而上依次为房身泡组、沙河街组沙

三段、沙一段、东营组、馆陶组、明化镇组以及第四系,整体缺失沙四段和沙二段。主要含油层系为沙一段,沙一段沉积时期,盆地构造活动较弱,鸳鸯寺等主干断裂活动强度降低,为裂陷衰减期,此时研究区为浅水湖盆环境,来自西北方向董家岗斜坡的沉积物在湖盆四周堆积形成扇三角洲^[13-15],研究区储层主要为水下分流河道、席状砂以及湖底扇等岩性体,单层厚度均小于 8 m。

2 J 31 块薄储层反演预测

波阻抗反演的频谱主要由低频、中频和高频三部分组成,其中低频成分一般分布在 0 ~ 9 Hz 之间,变化较缓慢,横向分布稳定,可利用井插值模型获得;中频成分一般在 9 ~ 45 Hz 之间,可利用地震数据求取波阻抗获得;高频成分一般大于 45 Hz,可通过井间模拟获得,但不够准确,因此可采用地震波形特征指示反演 (SMI) 方法加以解决。本文提出的优势频率融合研究思路,首先联合开展谱模拟反演和地震波形指示特征反演,再提取各反演结果的优势频率成分进行融合,由此来拓宽反演结果的频带宽度,提高反演结果的分辨率,以达到预测该薄储层分布的目的。

2.1 谱模拟反演

谱模拟反演技术是一种频率域的测井约束波阻抗反演方法,其核心是用地震资料的频谱和井资料的频谱相匹配来完成反演过程,具有不需要初始模型约束的优点,而且对井的依赖程度小,可以实现全局优化,在很大程度上减少了人为因素对反演结果的影响,可以客观地反映储层的展布特征。缺点是谱模拟反演结果与地震数据具有相同的频带宽度,缺少低频成分和高频成分,分辨率低^[16]。谱模拟反演技术虽然无法直接对薄储层分布进行预测,但是可以客观地反映出包含目的层在内的具有一定厚度地层的整体变化趋势。在本次研究中谱模拟反演主要有两方面作用:作为低频趋势约束估算的高频成分向正确的方向收敛;将其优势频率成分作为最终反演结果的中低频成分。

图 1 为谱模拟反演结果,时间分辨率约为 20 ms。由图 1 可以看出该反演结果无法直接看出目的层的分布情况,但是可以看出包含目的层在内约 50 m 厚地层的分布特征(图中虚线范围),该层在全区均有分布,西南较厚,向东北逐渐减薄。

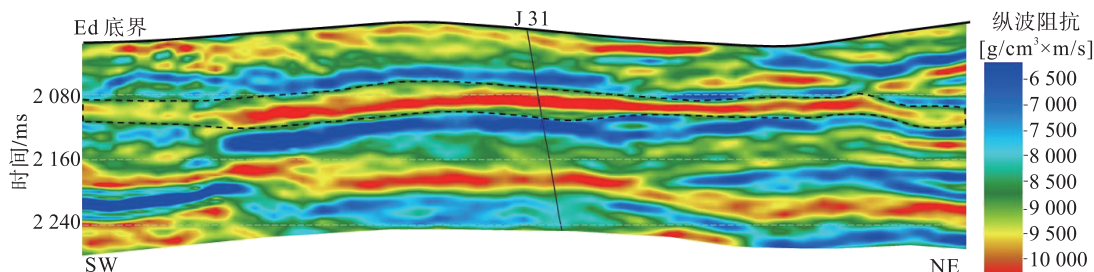


图1 过 J 31 井谱模拟反演剖面

2.2 地震波形特征指示反演

地震波形特征指示反演(SMI)是以传统的地质统计学为基础,利用沉积学原理,按照地震波形的横向变化特征预测分析储层的相变特征,进而研究储层垂向岩性组合高频结构特征。该方法采用“地震波形指示马尔科夫链蒙特卡洛随机模拟(SMCMC)”算法,在空间结构化数据指导下,参照空间分布距离和地震波形相似性两个因素对所有井按关联度排序,优选与预测点关联度高的井作为初始模型,对高频成分进行无偏最优估计,并保证最终反演的地震波形与原始地震一致,实现了空间上受地震相约束的效果,同时符合沉积规律^[17-20]。该方法

在很大程度上提高了反演结果的确定性,减少了多解性。

地震波形特征指示反演在本研究中的作用是在相控约束下提供识别薄储层所必须而地震资料中不具备的高频成分。但由于高频成分具有随机性,而且随着频率的提高,随机性也随之增强,所以最高截止频率在满足薄储层预测需要的前提下越低则预测结果越可靠。根据研究区 8 m 薄储层预测的需要确定高频端为 120 Hz。图 2 为地震波形特征指示反演结果,虚线所标注的层位即厚度为 8 m 的目的层,由图 2 可以看出该层已经有了明显的阻抗异常,由此证明该波阻抗数据体的分辨率完全满足该薄储层预测研究的需要。

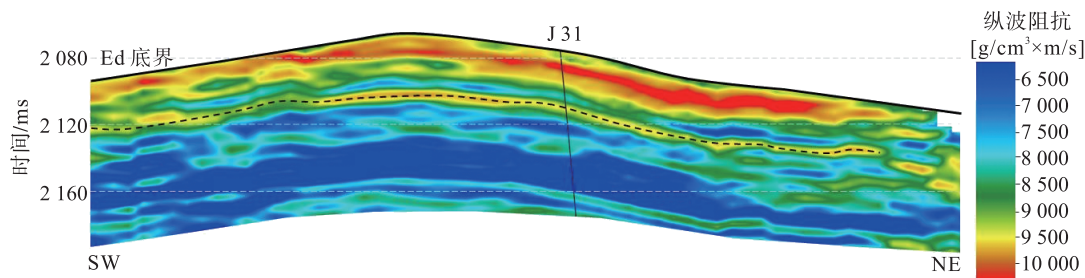


图2 过 J 31 井地震波形特征指示反演剖面

2.3 优势频率融合

由于谱模拟反演结果中与地震资料频带宽度(9 ~ 45 Hz)一致的频率成分比地震波形特征指示反演更为可靠,而地震波形特征指示反演可以在沉积约束的基础上估算谱模拟反演结果中所不具备的 45 ~ 120 Hz 频率成分,低频模型可以根据井资料提供 0 ~ 9 Hz 的低频成分,将上述各部分的优势频率成分进行融合,则最终反演结果的各个频段的频率成分都是最优的。

图 3 是频率融合之后的最终反演结果,虚线所标注的位置为目的层,由图 3 可以清晰地看出目的层的分布范围。目的层之上的高阻地层根据井资料分析为 2 ~ 4 m 的细砂岩与泥岩互层,由于最终反演结果的频带宽度不满足识别 4 m 薄层的要求,所以呈现出低阻背景下具有一定厚度的高阻特征,而目的层以下根据钻井资料揭示为大段泥岩夹粉砂岩和泥质粉砂岩,反演结果也呈现出大段的低阻特征,可见两者吻合程度较高,证实了该研究结果的可靠性。

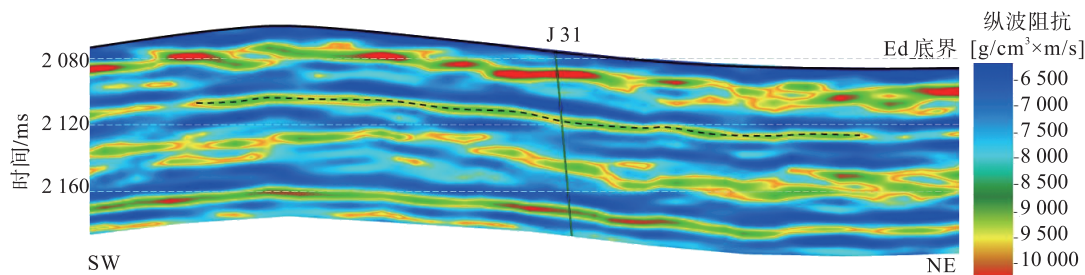


图3 优势频率融合后全频带波阻抗剖面

2.4 效果分析

图4为基于优势频率合并数据体沿着目的层提取的沿层波阻抗切片,反映了薄储层的空间展布特征,其西北边界为一条走滑断层,虚线范围为预测薄储层分布区域。由图4可以看出J31块薄储层沿着断层向东南方向呈扇形展布,面积为 1.2 km^2 ,通过区内新完钻井钻遇情况对上述预测结果进行验证,结果表明:在预测储层分布区内新完钻的J34井钻遇该套储层,岩性与J31井一致,均为砂砾岩体,厚度为8 m;而周边H35、H42、H64、H95、J602等井均不发育该薄储层。通过上述分析可见,本研究结果与钻井资料显示一致,证实了本次预测结果的可靠性,也证实了该预测方法的可操作性。

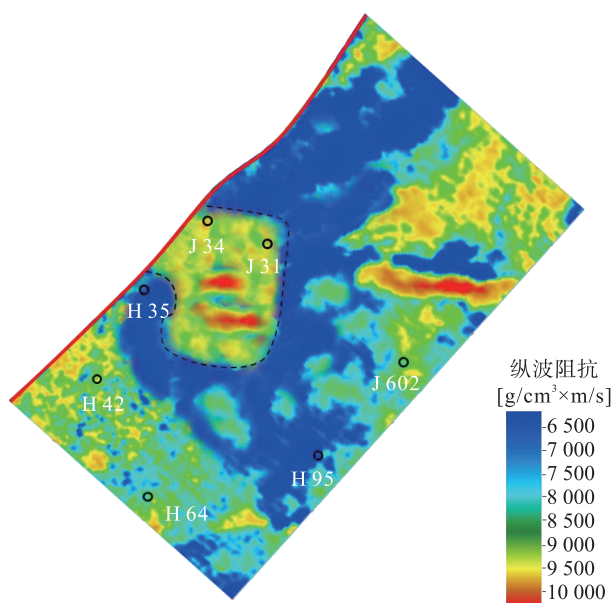


图4 J31块薄储层反演预测平面图

3 结论

1) 综合岩心及测井资料开展岩石物理分析是薄储层反演预测的基础和关键,只有当波阻抗可以对薄储层与围岩进行区分时才可以逐步开展高分辨率储层反演研究。

2) 基于优势频率融合的思路,联合开展谱模拟反演和地震波形特征指示反演,提取谱模拟反演结果中与地震资料频带宽度(9~45 Hz)一致的频率成分、地震波形特征指示反演中地震频带宽度范围之外的高频成分(45~120 Hz)、以及低频模型中的低频成分(0~9 Hz),三者融合后形成的全频带波阻抗数据体可以实现8 m薄储层的分布预测,为类似区块勘探开发提供借鉴。

参考文献:

[1] 杜世通. 地震技术识别与描述超薄储层的潜力与局限[J].

石油地球物理勘探, 2005, 40(6): 652-662.

Du Shitong. Potential and Limitation of Identifying and Describing Ultra-Thin Reservoir by Seismic Technology [J].

Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(6): 652-662.

[2] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 17-24.

Li Qingzhong. Towards the Road of Accurate Exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 17-24.

[3] 曾洪流. 地震沉积学译文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 1-11.

Zeng Hongliu. Collected Works of Seismic Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 1-11.

[4] 张宪国, 林承焰, 张涛, 等. 大港滩海地区地震沉积学研究[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 40-46.

Zhang Xianguo, Lin Chengyan, Zhang Tao, et al. Seismic Sedimentologic Research in Shallow Sea Areas, Dagang [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 40-46.

[5] 黄捍东, 曹学虎, 罗群. 地震沉积学在生物礁滩预测中的应用——以川东褶皱带建南-龙驹坝地区为例[J]. 石油学报, 2011, 32(4): 629-636.

Huang Handong, Cao Xuehu, Luo Qun. An Application of Seismic Sedimentology in Predicting Organic Reefs and Banks: A Case Study on the Jiannan-Longjuba Region of the Eastern Sichuan Fold Belt [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(4): 629-636.

[6] 魏嘉, 朱文斌, 朱海龙, 等. 地震沉积学-地震解释的新思路及沉积研究的新工具[J]. 勘探地球物理进展, 2008, 31(2): 95-101.

Wei Jia, Zhu Wenbin, Zhu Hailong, et al. Seismic Sedimentology: A New Idea for Seismic Interpretation and New Tool for Sedimentological Studies [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2008, 31(2): 95-101.

[7] 文钢锋, 王智, 韩军, 等. 地质模型反演预测隐蔽油气藏[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(1): 94-98.

Wen Gangfeng, Wang Zhi, Han Jun, et al. Application of Geological Model Inversion Technique to Prediction of Subtle Reservoir [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(1): 94-98.

[8] 李明, 侯连华, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏地球物理勘探技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 97-112.

Li Ming, Hou Lianhua, Zou Caineng, et al. Geophysical Exploration Technology of Lithostratigraphy Reservoir and Its Application [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 97-112.

[9] 董奇, 卢双舫, 张学娟, 等. 地质统计学反演参数选取及反演结果可靠性分析[J]. 物探与化探, 2013, 37(2): 328-

- 332.
- Dong Qi, Lu Shuangfang, Zhang Xuejuan, et al. Selection of Parameters and Reliability Analysis of Result in Geostatistical Inversion Method [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2013, 37 (2): 328 - 332.
- [10] 王香文, 刘红, 滕彬彬, 等. 地质统计学反演技术在薄储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33 (5): 730 - 735.
- Wang Xiangwen, Liu Hong, Teng Binbin, et al. Application of Geostatistical Inversion to Thin Reservoir Prediction [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33 (5): 730 - 735.
- [11] 刘占族, 张雷, 霍丽娜, 等. 地质统计学反演在煤层气薄储层识别中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47 (增刊1): 30 - 34.
- Liu Zhanzu, Zhang Lei, Huo Lina, et al. Thin Coalbed Methane Reservoir Identification by Geostatistics Inversion [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47 (Suppl 1): 30 - 34.
- [12] 孙思敏, 彭仕宓. 地质统计学反演方法及其在薄层砂体预测中的应用[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22 (1): 41 - 48.
- Sun Simin, Peng Shimi. Geostatistical Inversion Method and Its Application in the Prediction of Thin Reservoirs [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, 22 (1): 41 - 48.
- [13] 李明生, 孟召平, 王金花, 等. 辽河盆地黄金带油田沙一段沉积微相及其物性特征[J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30 (6): 9 - 11.
- Li Mingsheng, Meng Zhaoping, Wang Jinhua, et al. Microfaces and Rock Property Characteristics of Sha 1 Formation in Huangjindai Oil Field of Liaohe Basin [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2006, 30 (6): 9 - 11.
- [14] 董文波, 李雅楠. 辽河坳陷欧利坨子地区构造成因及石油地质意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21 (6): 65 - 72.
- Dong Wenbo, Li Yanan. Structural Genesis and Its Petroleum Geological Significance of Oulituozi Area in Liaohe Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21 (6): 65 - 72.
- [15] 李明生, 孟召平, 朱红梅, 等. 驾掌寺地区沙河街组碎屑岩储层特征及影响因素分析[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13 (2): 14 - 16.
- Li Mingsheng, Meng Zhaoping, Zhu Hongmei, et al. Clastic Reservoir Characteristics and Influence Factor Analysis of Shahejie Formation, Jiazhangsi Area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13 (2): 14 - 16.
- [16] 冉令. 一种基于地震波形指示的反演方法研究[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2016, 30 (3): 3 - 5.
- Ran Ling. An Inversion Method Research Based on Seismic Waveform Indication-Taking Reservoir Prediction on Qingshuihe Group of Cretaceous in Hashan Area as an Example [J]. Journal of Shengli College China University of Petroleum, 2016, 30 (3): 3 - 5.
- [17] 熊翥. 地层岩性油气藏勘探[J]. 岩性油气藏, 2008, 20 (4): 1 - 7.
- Xiong Zhu. Exploration of Stratigraphic-Lithologic Reservoirs [J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20 (4): 1 - 7.
- [18] 康红庆, 马春华, 宋考平. 测井约束地震反演在储层预测中的应用[J]. 特种油气藏, 2012, 19 (3): 14 - 17.
- Kang Hongqing, Ma Chunhua, Song Kaoping. Application of Log-Constrained Seismic Inversion in Reservoir Prediction [J]. Special Oil and Gas Reservoir, 2012, 19 (3): 14 - 17.
- [19] 徐赢, 覃新平, 吴迪, 等. 基于模型地震反演储层预测技术的应用——以牛圈湖油田西山窑组为例[J]. 岩性油气藏, 2012, 24 (4): 85 - 89.
- Xu Ying, Qin Xinping, Wu Di, et al. Application of Seismic Inversion Technique Based on Model to Reservoir Prediction: A Case Study from Xinshanyao Formation in Niujianhu Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24 (4): 85 - 89.
- [20] 熊翥. 地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47 (1): 1 - 18.
- Xiong Zhu. Seismic Exploration for Strati-Lithologic Reservoirs [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47 (1): 1 - 18.