

张文,陈文侠. 长春岭油田储层预测研究. 地球物理学进展, 2009, 24(2): 494~500, DOI: 10. 3969/ j. issn. 1004-2903. 2009. 02. 017.
Zhang W, Chen Wen X. Reservoir prediction research in the Changchun ling oil field, *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(2): 494~500, DOI: 10. 3969/ j. issn. 1004-2903. 2009. 02. 017.

长春岭油田储层预测研究

张 文¹, 陈文侠²

(1. 大庆石油学院提高油气采收率教育部重点实验室, 大庆 163318; 2. 吉林油田公司研究院物探分院, 松原 138000)

摘 要 常用的储层横向预测技术有地震属性分析技术和地震反演技术两大类, 应用这两种技术对长春岭油田扶余油层进行了储层预测研究. 研究表明, 长春岭油田地震资料的振幅属性与已知井砂岩发育情况吻合较好, 本文利用振幅属性描述了扶余油层 I~IV 砂组储层砂岩的分布趋势. 应用地震反演方法得到扶余油层储层砂岩纵横向展布规律, 经钻探证明, 预测的结果比较可靠.

关键词 地震属性分析, 地震反演, 储层预测, 振幅

DOI: 10. 3969/ j. issn. 1004-2903. 2009. 02. 017

中图分类号 P631

文献标识码 A

Reservoir prediction research in the Changchun ling oil field

ZHANG Wen¹, CHEN Wen-xia²

(1. Key Laboratory of Education Ministry for Recovery Enhancing, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China;
2. Jilin Oilfield Company Institute Geophysical Exploration Branch, Songyuan 138000, China)

Abstract Commonly used lateral reservoir prediction technologies include seismic attribute analysis and seismic inversion. Reservoir prediction to Fuyu oil layers of the Changchun Ling oil field is studied by the two technologies. It shows that the amplitude attributions of the seismic data in the Changchun Ling oil field coincide well with the situation of sandstone development in wells. In this paper, distribution trends of reservoir sandstone are described by means of amplitude attributions in the I~IV sandstone beds of Fuyu oil layers. The distribution laws of the sandstone reservoir in vertical and horizontal directions are also obtained by means of the seismic inversion. It is proved that the prediction result is much reliable by exploration drilling.

Keywords seismic attribute analysis, seismic inversion, reservoir prediction, amplitude

0 引 言

储层预测技术已成为岩性油气勘探中的一项常规应用技术. 目前比较常用的储层横向预测方法有地震属性分析方法、地震反演方法^[1~3]. 地震属性分析方法是一种定性预测储层的方法, 用于寻找储层分布的总体趋势, 主要包括地震属性提取、相干体分析、地震波形属性分析等多种技术手段, 常用的软件有 Landmark、Geoframe、Stratimagic 等^[4]. 地震属性分析方法的预测精度不如反演预测高, 可为地震反演工作提供一定的地质指导, 在钻井较少的地区

比较适用^[5,6]. 地震反演预测是一种定量预测储层的方法, 主要包括递推反演、模型反演和多参数岩性地震反演等, 常用反演软件有 Jason、Strata、ISIS 和 EPS 等. 因为有钻井资料参与约束, 因此预测结果精度较高, 井资料越多预测结果精度越高, 是目前精细预测储层的最有效方法^[7].

1 地震属性分析

1.1 地震属性分析原理

地下岩层物理性质或流体性质发生变化时, 会引起地震运动学和动力学特征的相对变化, 反映这

收稿日期 2008-10-30; 修回日期 2009-01-22.

作者简介 张文, 男, 1964 年生, 大庆石油学院石油工程学院副教授, 主要从事储层预测、油藏描述、计算机应用等方面的研究. (E-mail: zhw64@126.com)

些特征的地球物理参数有频率、振幅、时间等百余种,称之为地震属性.根据这些属性与已知信息的统计关系推断地下储层和油气分布范围的技术称为地震属性分析^[8,9].

地震属性指的是那些由叠前或叠后地震数据,经过数学变换而导出的有关地震波的几何形态、运动学特征和统计特征.利用地震属性分析技术可以预测砂组的砂岩发育情况^[10].三维地震数据包含丰富的地质信息,这些信息能够反映构造和储层情况,而通过三维数据属性提取可以获得一定程度储层信息^[11].这些属性可分为振幅类、频率类、相关类等,通过对提取的地震属性与已知井资料进行综合分析,可以将其中与沉积及含油气有关的属性分离出来,从而达到预测储层的目的^[12,13].通过对地震数据体中提取的各种属性进行分析能够帮助解释人员正确地认识地质现象,从而拓宽了地震资料的应用领域.

1.2 扶余油层 I ~IV 砂组属性分析

利用已知井的合成地震记录在地震剖面上确定出储层的位置,根据储层的厚度大小确定通过开窗的大小,利用 LandMark 的地震属性提取模块对储层进行体积属性分析,再与已知井资料进行对比分析,确定出能够反映储层发育特征的属性,据此推断储层分布趋势.本次主要针对扶余油层的四个砂组进行了地震属性分析.

扶余油层 I 砂组储层砂岩不发育,分布比较零星.通过合成地震记录进行标定,砂层基本上都标定在波峰反射同相轴上.从地震剖面上看,扶余油层 I 砂组以弱反射为主,在弱反射背景下有一些中强振幅反射,经井标定,这些中强振幅反射为砂岩顶界面反射.我们利用 Land Mark 解释软件的地震属性提取功能,从长 110 井的标定结果出发,通过开窗,对扶余油层 I 砂组的振幅、相位、频率等属性分别进行了提取.

经过与井揭示的结果进行对比,同时结合本区沉积环境研究成果综合分析,相位类、频率类属性与已知井的砂岩发育情况吻合不好,而振幅属性与已知井的砂岩发育情况吻合较好,因此我们认为利用振幅属性基本上能够描述扶余油层 I 砂组储层砂岩的大致分布趋势(图 1).在图 1 中,落在红色区域内的井,砂岩都比较发育,其中长 110 井、长 107-2 井、长 114 井、扶 223-1 井测井解释为油气水层,长 17 井获工业油流;而落在天蓝色区域内的井,泥岩都比较发育,而且红色区域的展布特征也符合地质规律,

因此预测红色区域为预测砂岩发育区,而天蓝色区域为泥岩发育区.

应用上述方法预测了扶余油层 II ~IV 砂组储层砂岩的大致分布趋势(图 2、图 3、图 4).

2 地震反演储层横向预测

地震反演是利用地表观测地震资料,以已知地质规律和钻井、测井资料为约束,对地下岩层空间结构和物理性质进行成像(求解)的过程,广义的地震反演包含了地震处理解释的整个内容^[14,15].波阻抗反演是指利用地震资料反演地层波阻抗(或速度)的地震特殊处理解释技术.波阻抗与地震资料是因果关系,具有明确的物理意义,是储层岩性预测、油藏特征描述的确定性方法^[16,17].

Jason 反演方法利用井旁地震道内插出一个地震数据体,将内插地震数据体与实际地震数据体相对比;然后改变每一个样点的权系数,直到内插的数据体与实际地震数据体的误差满足精度要求,从而求出一个权系数数据体;再利用已知井的结果,通过权系数控制得到内插、外推的各种结果,如波阻抗、孔隙度等.

测井约束反演方法的优点在于:在薄层地质条件下,由于地震频带宽度的限制,基于普通地震分辨率的直接反演方法,其精度和分辨率都不能满足油田开发的要求.井约束的波阻抗反演以测井资料丰富的高频信息和完整的低频成分补充了地震有限带宽的不足,用已知地质信息和测井资料作为约束条件,完成从一个井眼到一个区块的高分辨地震资料反演,使得钻井地层剖面上的信息与地震记录反演的波阻抗信息具有良好的对应关系,为储层砂体预测提供了较可靠保障^[18].本次储层预测应用 Jason 反演方法.

2.1 Jason 反演原理

Jason 反演采用稀疏脉冲反演算法,稀疏脉冲反演算法是以褶积模型为基础的多道模型反演方法,其核心是优化(最小化)如下目标函数:

$$F = L_p(r) + \lambda L_q(s - d) + \alpha^{-1} L_1(\Delta Z_{\text{trend}}), \quad (1)$$

$$s = r * \omega, \quad (2)$$

$$r_i = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i}, \quad (3)$$

式中: r 为反射系数; Z 为声波阻抗; d 为原始地震数据; s 为合成地震数据; ω 为地震子波; λ 为数据匹配权重因子; L_q 为合成记录与地震数据的差; L_p 为反射系数绝对值的总和; L_1 为趋势匹配误差; α 为软约

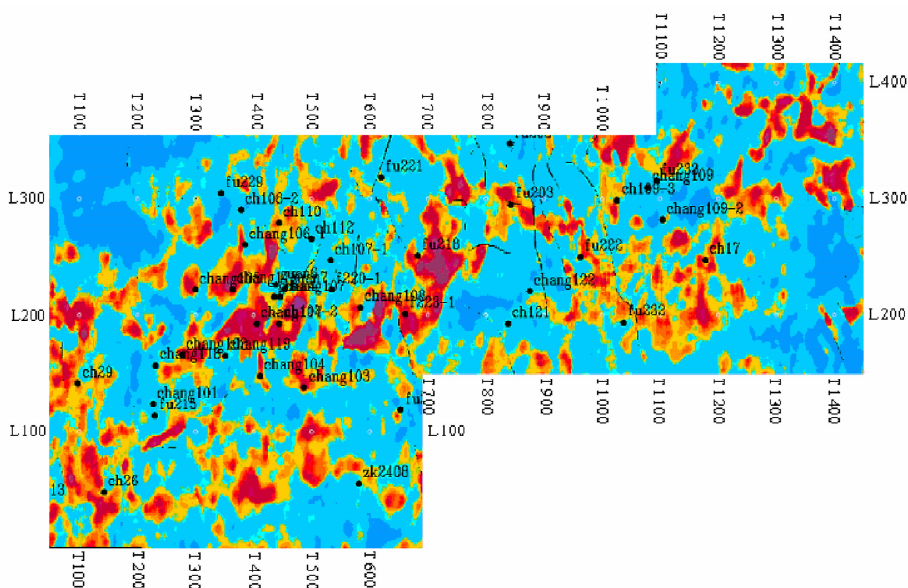


图 1 扶余油层 I 砂组振幅属性平面图

Fig. 1 Plane map of the amplitude attribute of the I sandstone beds in Fuyu oil layer

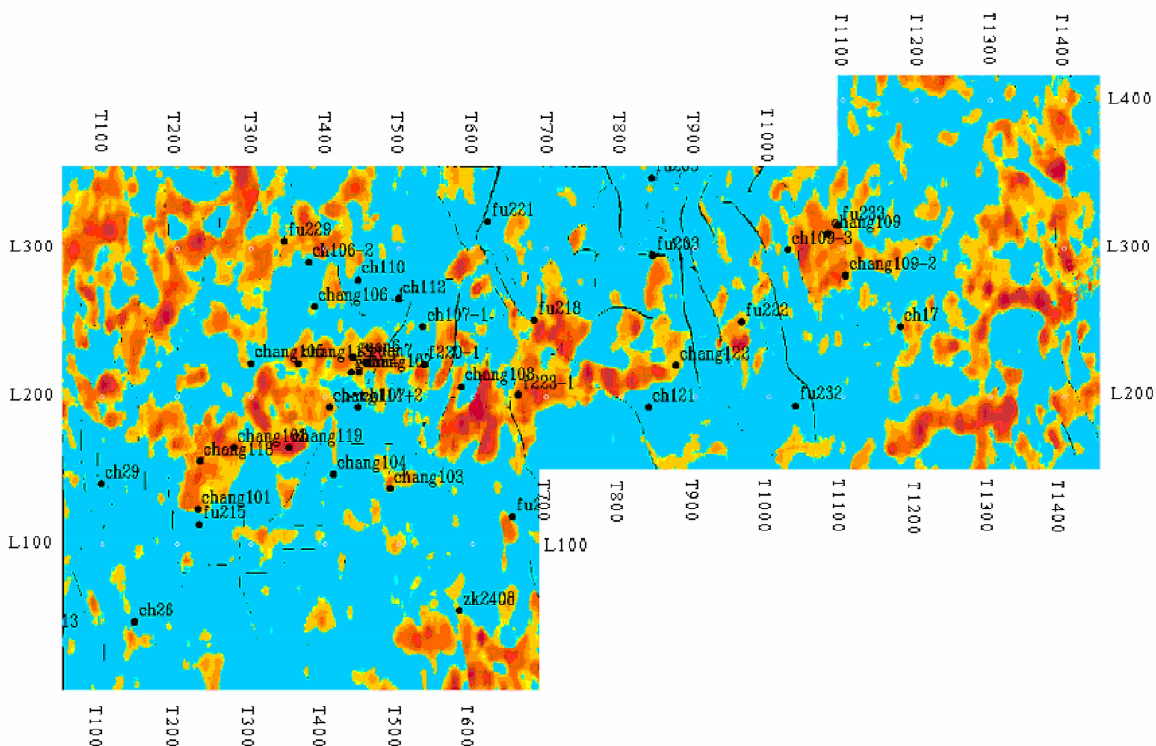


图 2 扶余油层 II 砂组振幅属性分析平面图(红色区域为预测砂岩发育区)

Fig. 2 Plane map of the amplitude attribute plan in the II sandstone beds in Fuyu oil layer

(red bands represent the predicted sandstone developed zones)

束不确定因子; $a^{-1}L_1(\Delta Z_{trend})$ 为软趋势约束。

式中第一项控制反演结果的稀疏程度, p 值小于 1 时, λ 取值越高(最高值可为反演时窗内地震样点数), 反演结果的波阻抗细节信息越丰富。

式中第二项为反演结果与实际地震记录相匹配项(以子波为桥梁), q 的取值通常为 2, 如果目标层段地震信号较弱且信噪比较低, q 的取值可为 1。

式中第三项的作用是补偿地震记录所缺失的低

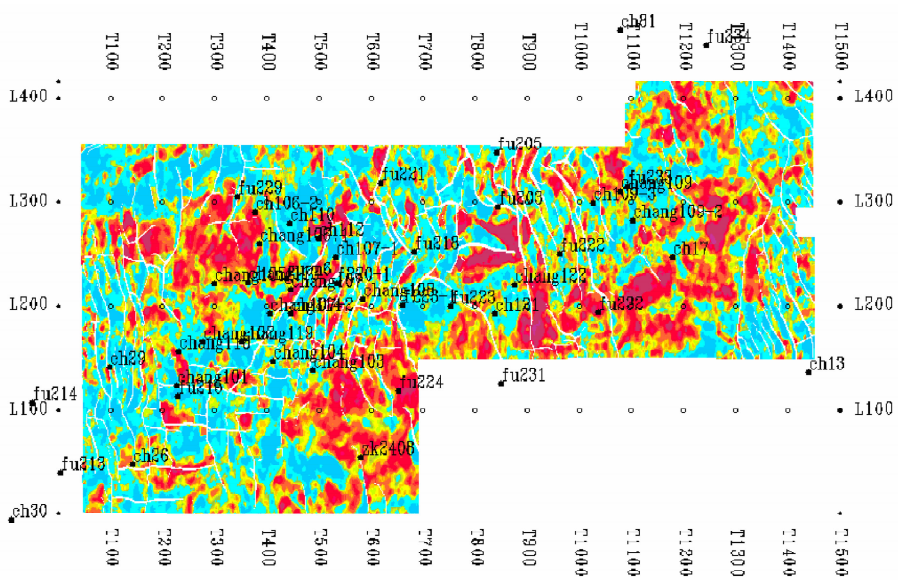


图 3 扶余油层Ⅲ砂组振幅属性分析平面图(红色区域为预测砂岩发育区)

Fig. 3 Plane map showing the amplitude attribute plan in the Ⅲ sandstone beds in Fuyu oil layer (red bands represent the predicted sandstone developed zones)

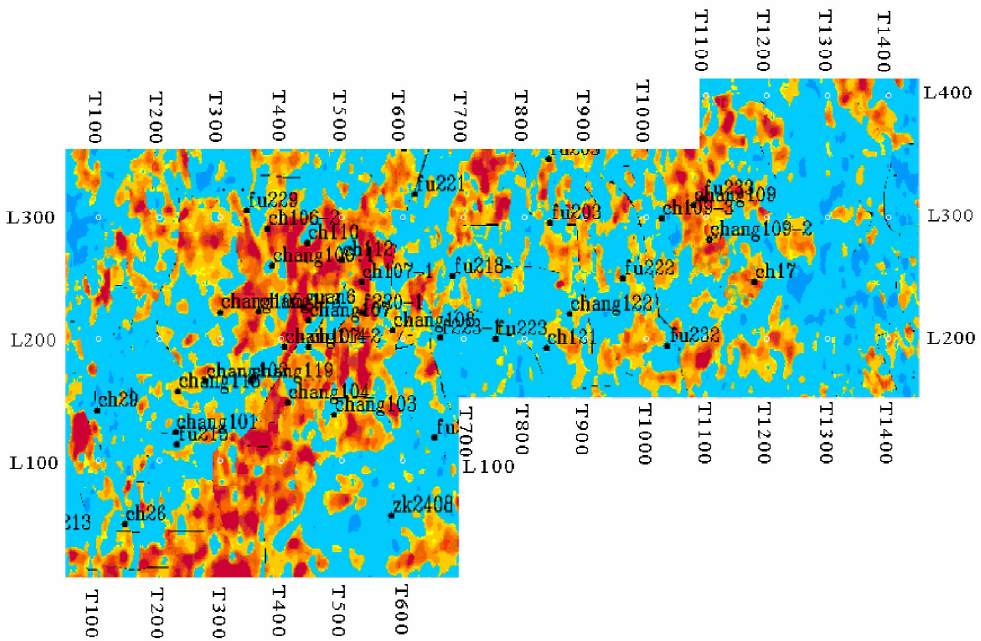


图 4 扶余油层Ⅳ砂组振幅属性分析平面图(红色区域为预测砂岩发育区)

Fig. 4 Plane map showing the amplitude attribute plan in the Ⅳ sandstone beds in Fuyu oil layer (red bands represent the predicted sandstone developed zones)

频成分,观察反演结果的优劣.

2.2 Jason 反演主要过程

2.2.1 基础数据准备

(1)测井曲线标准化

为了提高合成记录的制作质量和层位标定精度,必须消除或尽量减少外部因素(例如井的测量环

境、仪器设备影响等)对测井数据的影响,需要对使用的测井资料进行必要的校正.由于研究区内井与井之间在施工年度、测井系列、录制因素、环境校正等环节上存在差异,客观上导致了井间测井曲线在刻度及灵敏度方面的一致性.这些因素做为一种系统误差将会造成储层横向的不可比性,影响到个

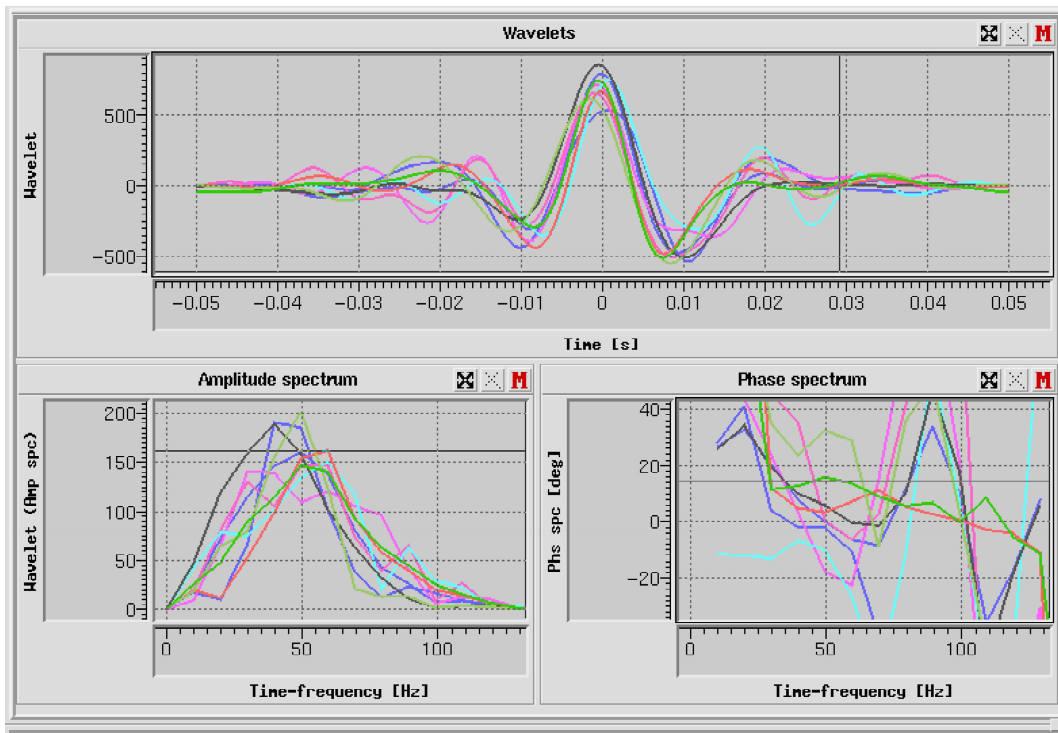


图 5 综合子波示意图

Fig. 5 Sketch of composite wavelets

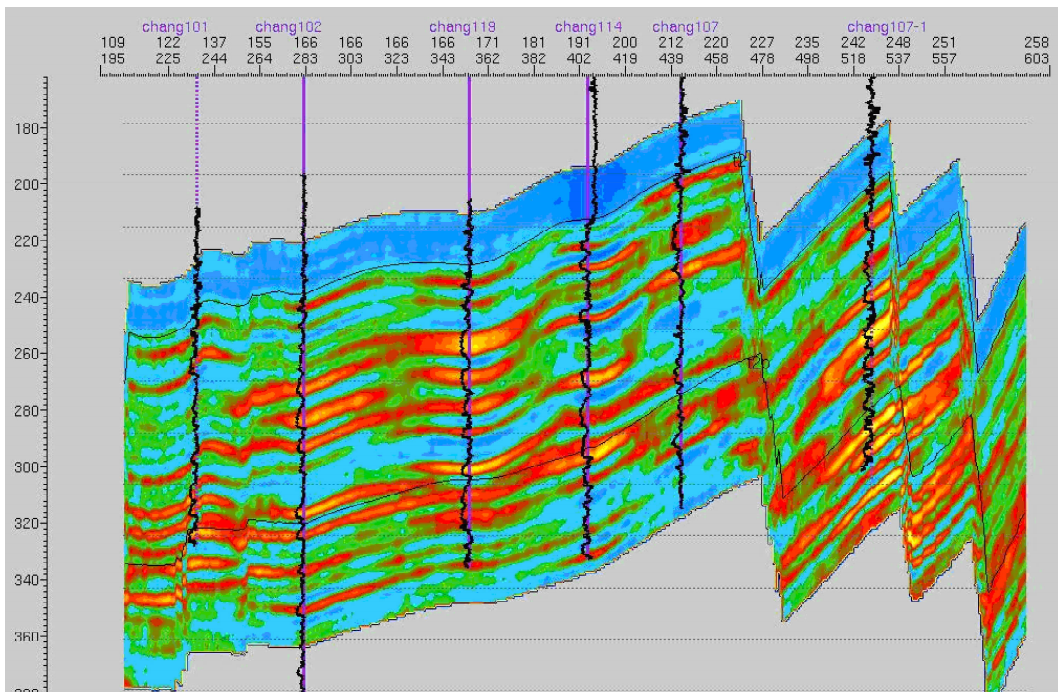


图 6 扶余油层 Jason 反演效果

Fig. 6 Inversion result by Jason for the Fuyu oil layer

别曲线对储层物理特性的真实性,进而严重影响反演质量,因而必须对工区内的测井资料进行归一化处理. 分别对每口井进行逐一分析,在平面上通过横

向对比,对个别异常值进行编辑和剔除,以保持区域上的合理性.

(2)测井曲线重构

这次反演主要目的层为泉头组四段以及泉头组三段一砂组,从该区区域沉积背景来看,泉三段及泉四段沉积时期长期处于三角洲平原、三角洲前缘沉积相带,发育河流相沉积砂体,单砂体厚度在 2~12 m 之间,与泥岩成互层交互沉积,因此,在该沉积背景下,造成砂泥岩速度差非常小,砂岩平均速度在 2760 m/s 左右,泥岩平均速度在 2430 m/s 左右;又由于有的砂层富含油气,造成含油气砂岩速度进一步降低,其平均速度在 2560 m/s 左右;砂泥岩速度差仅为 130~330 m/s 左右,因而使得声波时差测井曲线不能较好地反映地下岩性特征,而自然伽玛测井曲线由于不受所含流体等影响,在本区能更好地反映岩性特征,因此,我们利用自然伽玛测井曲线对声波时差测井曲线进行了重构,应用重构后的声波时差测井曲线进行波阻抗反演,可以提高波阻抗反演的精度。

(3) 构造精细解释

构造的精细解释,包括层位解释与断层解释,这个精细解释要求尽量减少层位解释的闭合差,在反演软件中,解释层位是用来建模的,如果层位解释不闭合,测线交点存在闭合差,用这样的数据建模,则构造模型呈锯齿状,使反演剖面产生畸变。

(4) 地震资料

波阻抗反演的基础是地震资料,地震资料的品质好坏对反演结果的准确与否有很大影响,只有利用高保真度、高信噪比、高分辨率的地震资料才能反演出更为准确的波阻抗资料。

2.2.2 储层标定

反演目标层的标定主要依据是合成地震记录,通过动态观测和定量相关技术,寻求合成地震记录与井旁道的最佳匹配,当相关系数达到 80% 以上时,该井标定基本定型,以此为基础局部微调测井曲线,最终确定反演目标层在地震剖面上的具体位置,层位标定是地震反演和解释的基础,目的在于:建立钻井地质层位信息与地震反射同相轴的对应关系。

2.2.3 反演子波选取

子波是做好地震反演的重要参数之一,子波估算得合适与否,直接影响地震反演的结果,对每口井的井旁地震道提取子波,通过 QC 控制,确定适合本井的最佳子波,然后利用这些子波计算出一个综合子波(图 5),利用综合子波进行反演。

2.2.4 初始模型的建立及反演参数确定

初始模型的建立主要是以测井曲线和地震资料为主来建立地层横向变化规律,地质—地震层位标

定将深度域的层位和储层信息标定到时间域的地震剖面上,沿地震解释层位将测井提供的储层信息进行内插外推,建立初始地震模型,因此选取合适的地质层位作为控制层位是建立合理地震模型的关键,经过反复试验,优选出最佳的反演参数。

2.3 反演效果

根据本区自然伽玛测井曲线重构后的砂泥岩波阻抗门限值来确定不同颜色代表相应的岩性特征和反演数据体的垂向和横向变化规律,得到反演剖面(图 6),图中红黄色代表砂岩发育,蓝绿色代表泥岩发育,从图 6 上我们可以看到:反演结果与已知井吻合较好,砂泥岩横向、纵向变化规律符合本区地质特点,与该区的河道沉积特征是相吻合的,这就说明本次反演结果是比较可靠和可信的,另外,通过长 102-1 井、长 109-1 井、长 109-4 实钻证实:反演预测结果与钻探结果吻合较好。

3 结 论

(1) 扶余油层 I~IV 砂组的相位、频率等属性与已知井的砂岩发育情况吻合不好,而振幅属性与已知井的砂岩发育情况吻合较好,可以用振幅属性描述扶余油层 I~IV 砂组储层砂岩的分布趋势;

(2) 应用地震属性分析方法,预测了长春岭油田扶余油层 I~IV 砂组砂岩分布;

(3) 应用地震反演方法,预测了长春岭油田储层纵横向变化规律;预测结果与钻探结果吻合很好。

参 考 文 献 (References):

- [1] 孙万军. 多种地震属性参数在储层横向预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(5): 586~588.
Sun W J. Application of multiple seismic attributes parameters to lateral reservoir prediction[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(5): 586~588.
- [2] 何碧竹, 周杰, 汪功怀. 利用多元地震属性预测储层信息[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(3): 258~262.
He B Z, Zhou J, Wang G H. Using multivariate seismic attributions to predict reservoir information [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2003, 38(3): 258~262.
- [3] 马丽娟, 郑和荣, 陈霞. 隐蔽油气藏地震预测技术研究新进展[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 294~300.
Ma L J, Zheng H R, Chen X. The New progress of seismic forecast technology of Subtle Traps [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(1): 294~300.
- [4] 张以明, 康洪全, 沈华, 等. 碎屑岩储层预测技术适用性研究[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 43(4): 447~452.
Zhang Y M, Kang H Q, Shen H, et al. Study on adaptability of clastic reservoir prediction technique[J]. Oil Geophysical

- Prospecting, 2004, 43(4):447~452.
- [5] 张延玲, 杨长春, 贾曙光. 地震属性技术的研究和应用[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4):1129~1133.
Zhang Y L, Yang C C, Jia S G. The application of the seismic attributes[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(4):1129~1133.
- [6] Chen Q, Sidney S. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring[J]. The leading Edge, 1997, 16(5):220~231.
- [7] 年静波, 张尔华, 刘喜武, 等. 我国东部复杂断块区三维地震反演与储集层预测[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2):184~187.
Nian J B, Zhang E H, Liu X W, *et al.* 3D seismic inversion and reservoir prediction in complex fault-block areas in eastern China [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(2):184~187.
- [8] 吕公河, 于常青, 董宁. 叠后地震属性分析在油气田勘探开发中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1):161~166.
Lü G H, Yu C Q, Dong N. The application of post-stack seismic attribute analysis in the oil-gas exploration and development[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(1):161~166.
- [9] 孟召平, 郭彦省, 王赞, 等. 基于地震属性的煤层厚度预测模型及其应用[J]. 地球物理学报, 2006, 49(2):512~517.
Meng Z P, Guo Y S, Wang Y, *et al.* Prediction models of coal thickness based on seismic attributions and their applications [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(2):512~517
- [10] 王利田, 苏小军, 管仁顺, 等. 地震属性分析在彩16井区储层预测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3):922~925.
Wang L T, Su X J, Guan R S, *et al.* The application of seismic attribute analyses in predicating reservoir of cai 16 area[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(3):922~925.
- [11] Marfurt K J, Kirlin R L, Farmer S L, *et al.* 3D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm[J]. Geophysics, 1998, 63(4):1150~1165.
- [12] 于建国, 姜秀清. 地震属性优化在储层预测中的应用[J]. 石油与天然气进展, 2003, 24(3):291~293.
Yu J G, Jiang X Q. Application of Seismic Attribute optimization in reservoir prediction[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3):291~293.
- [13] Michelena R J. Similarity analysis: a new tool to summarize attribute information [J]. The Leading Edge, 1998, 17(4):62~67.
- [14] 苑书金. 叠前地震反演技术的进展及其在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3):879~886.
Yuan S J. Progress of pre-stack inversion and application in exploration of the lithological reservoirs [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(3):879~886.
- [15] 张超英, 周小鹰, 董宁. 测井约束的地震反演在鄂尔多斯盆地大牛地气田中的应用[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(4):909~917.
Zhang C Y, Zhou X Y, Dong N. Seismic inversion constrained by wells in the Daniu gas-field in Eerduosi Basin [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2004, 19(4):909~917.
- [16] 姚振兴, 张霖斌. 波阻抗反演的混合最优化算法[J]. 地球物理学进展, 1999, 14(2):1~6.
Yao Z X, Zhang L B. Hybrid optimization method for acoustic impedance inversion[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 1999, 14(2):1~6.
- [17] 匡朝阳, 高锐, 史海英, 等. 长岭地区东北部拗陷层油气成藏特征及储层预测[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(3):808~813.
Kuang Z Y, Gao R, Shi H Y, *et al.* Accumulation characteristics of oil-gas under north-eastern depression in Changlin area and reservoir prevision [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2008, 23(3):808~813.
- [18] 吴媚, 符力耘, 李维新. 高分辨率非线性储层物性参数反演方法和应用[J]. 地球物理学报, 2008, 51(2):546~557.
Wu M, Fu L Y, Li W X. A high-resolution nonlinear inversion method of reservoir parameters and its application to oil/gas exploration [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2008, 51(2):546~557.