

文章编号: 1001- 6112(2004)01- 0063- 05

波阻抗反演及其在隐蔽圈闭预测中的应用

柏 涛¹, 徐志伟²

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130026; 2. 吉林油田, 吉林 松原 131100)

摘要: 笔者应用波阻抗反演地震剖面结合测井、岩心资料研究了松辽盆地南部青山口组和姚家组的层序, 共识别出 9 个层序, 20 个体系域, 建立了该区的层序地层格架。通过对波阻抗反演地震剖面进行层序地层、沉积微相、构造解释, 共识别出 5 种类型的隐蔽圈闭, 即地层超覆、砂岩透镜体岩性、构造- 岩性、断层- 岩性和砂岩上倾尖灭型圈闭, 并总结了它们在层序地层格架内的分布规律。

关键词: 沉积微相; 层序地层; 隐蔽圈闭; 波阻抗反演

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

地震记录中获取具有真实地质意义的地层参数, 一直是石油地质学家和地球物理学家的研究目标。各种地震反演技术正是在这一实际需求的刺激之下兴起的, 波阻抗反演是其中最成熟的一种地震反演技术。目前波阻抗反演有多种计算方法, 如神经网络算法^[1]及地震和测井资料联合反演算法^[2]。

本次采用的是宽带约束反演。宽带约束反演是用井中测得的波阻抗作为初始模型和约束条件, 应用随机反演理论, 与最优化计算技术相结合进行空间外推, 从而获得最佳宽带波阻抗剖面^[3]。这种技术能很好地将测井垂向上的高分辨率与地震在横向上的连续性结合起来, 使地震对储层的预测精度大大提高^[4]。理论及实践表明, 它是解决砂体展布、沉积微相识别和落实岩性圈闭的重要手段^[5]。

1 方法原理

在层状介质条件下, 地层波阻抗与反射系数之间的关系为:

$$I_i = I_{i-1} \times (1 + R_i) / (1 - R_i)$$

式中, I 和 R 分别为地层波阻抗和反射系数。假定给定的 N 层地质模型波阻抗初始值为 $I_0(0)$, 对上式两边取对数并作级数展开, 略去高次项有:

$$L(i) = L(0) + \sum_{j=1}^i 2R_j \quad I = 1, 2, \dots, N$$

式中, $L(i)$ 为对数波阻抗。这即为约束反演的基本原理。

为确保在实际处理过程中运算稳定并易于加入约束条件, 采用共轭梯度法, 通过多次迭代修改初始模型, 逐步逼近求取地层波阻抗。

2 处理流程

利用 Focus 或 ProMAX 系统处理得到高保真纯地震数据, 从地质模型出发, 通过不断修正、更新地层模型, 使模型正演合成地震道与实际地震道达到最佳吻合, 得到最终反演结果(图 1)。

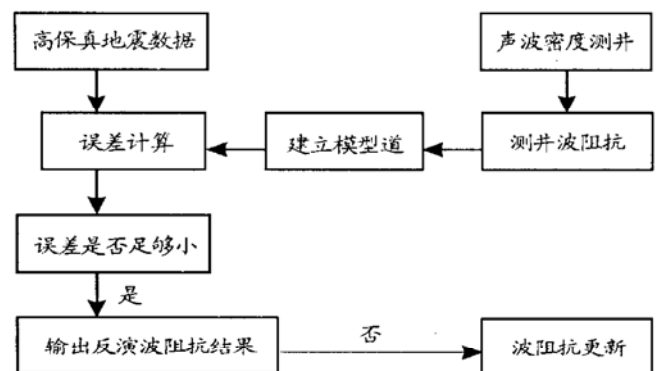


图 1 处理流程图
Fig. 1 Flow chart of processing

收稿日期: 2003- 01- 27; 修订日期: 2003- 11- 05.

作者简介: 柏 涛(1976—), 男, (汉族), 吉林省松原市人, 博士生, 主要从事隐蔽油气藏勘探研究.

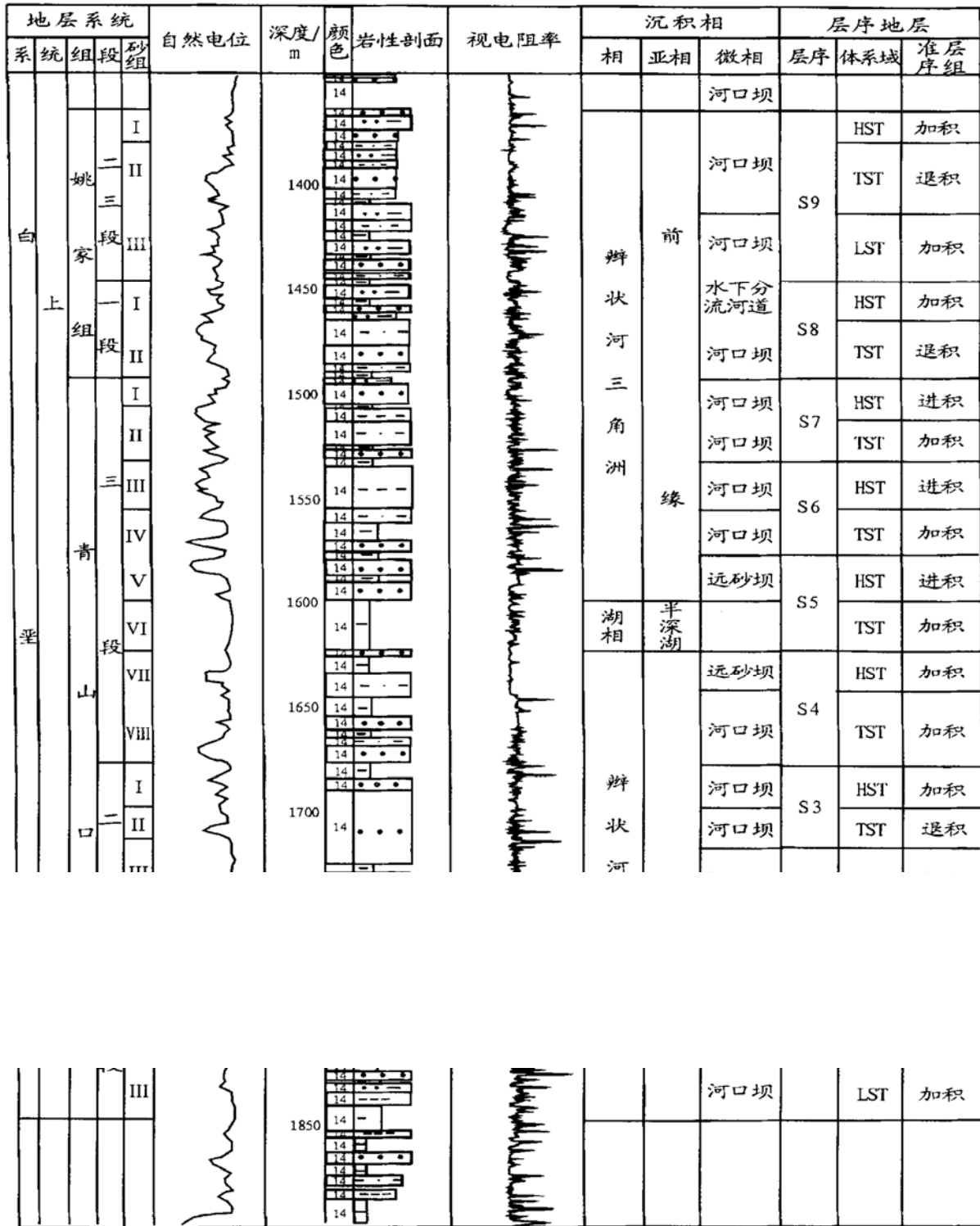


图2 典型井层序地层综合分析图

Fig. 2 Comprehensive analysis of sequence stratigraphy for a typical well

3 处理过程的几个关键环节

3.1 高质量的地震数据

地震资料的好坏直接影响反演结果,因而必须严格控制处理流程。选择最佳的模块和合适的参数,得到一套能反映地下地层特性的剖面。

3.2 测井曲线的校正

实测测井曲线由于受井壁垮塌泥浆浸泡等井孔

环境的影响而产生误差,必须利用钻井信息和实验室数据将误差消除,得到精确的声波时差曲线。

3.3 精确的层位标定

合成记录是连接测井与地震剖面的桥梁,通过精确制作合成记录,把地层岩性界面精确标定在地震剖面上。首先从地震数据体中提取合适的子波,选择最佳主频范围,确定层位标定区段;然后通过调

整子波相位角度(在 $+180^{\circ}$ ~ -180° 范围内以 5° 的增量进行调试)获得最佳的合成地震记录。

3.4 精确层位解释和初始模型建立

测井资料在纵向上详细揭示了地层波阻抗的变化,地震信息则连续记录了波阻抗的横向变化,二者的结合过程就是建立模型的过程。初始模型的横向分辨率取决于地震层位解释的精度,纵向分辨率受地震采样率的限制。

4 层序地层学研究

4.1 层序地层划分及层序地层格架建立

层序地层学是综合利用露头、岩心、测井和地震资料对层序进行综合分析的科学,它强调应用多种资料,对多种资料的研究结果进行匹配^[6]。由于地质资料的纵向分辨率较高,而常规地震资料的分辨率较低,使得这二者的研究结果难以匹配。对地震资料进行波阻抗反演很好地解决了这一问题,下面以松南某地区为例来说明。该区利用岩心和测井资料共划分出9个层序,20个体系域(如图2所示)。而该区的地震资料由于分辨率较低,在常规地震剖面上仅识别出6个层序,12个体系域,难以与地质资料匹配,波阻抗反演技术则很好地解决了这一问题。如图3所示,在反演地震剖面上共识别出9个层序,12个体系域,与地质资料匹配得很好,从而解决了层序的划分问题。综合地质及地震资料分析,建立本区层序地层格架如下:青一段相当于层序S1,由低水位、水进、高水位体系域构成;青二段相当于层序S2、S3,由水进及高水位体系域构成;青三段相当于层序S4、S5、S6、S7,由水进及高水位体系域构成;姚一段相当于层序S8,由水进及高水位体系域构成;姚二、三段相当于层序S9,由低水位、水进及高水位体系域构成。

4.2 层序地层格架内隐蔽圈闭预测

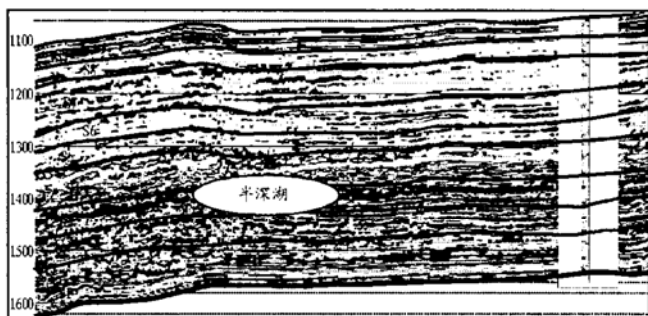


图3 典型反演地震剖面层序地层划分(原图为彩图)

Fig. 3 Sequence stratigraphic division of a typical wave impedance inversion profile

层序地层学作为一种新技术、新方法,对于生储盖的研究能提供更详细、更可靠、更有价值的资料,尤其对于隐蔽圈闭的研究更有其得天独厚的优势。层序地层学的重点是研究一个地层的层序,它能根据露头、钻井和地震资料细致地划分体系域,提供一种更精确的地质时代对比方法,并从沉积学和地层学方面重塑古地理,且能预测出生、储、盖层系的时空分布规律,为直接寻找隐蔽圈闭提供较可靠的依据。

4.2.1 沉积相分析

通过岩心相、亚相、微相特征的详细观察和分析,标定测井相,建立测井相分析刻度模板;再在单井测井相分析的基础上标定地震相(在波阻抗反演剖面上),建立地震相分析刻度模板;并在对约束井进行详细的沉积微相分析的基础上,对地震反射特征和砂体特征进行沉积微相标定(图4)。经分析,该区青山口期和姚家期沉积微相类型有三角洲平原、三角洲前缘、滨浅湖和半深湖。三角洲前缘又可细分为水下分流河道、河口坝、远砂坝和席状砂微相。油气藏几乎全部分布于三角洲前缘带,尤以河口坝居多。各微相特征如下:

1) 三角洲平原主要由分流河道及分流河道间湾组成,分流河道间湾沉积不发育,分流河道以中细粒粉砂岩沉积为主,各种板状、槽状、波状交错层理及冲刷面,砂体单层厚一般大于10m,砂体平面上呈带状,剖面上呈透镜状;

2) 水下分流河道以中细粒砂岩、粉砂岩为主,夹少量泥质粉砂岩,各种交错层理及冲刷构造,冲刷面上可见薄层含砾砂岩或细砾岩,有典型的砂包泥现象,砂体平面上呈带状,剖面上呈透镜状,砂体单层厚度在5~10m;

3) 河口坝以粉砂岩及泥质粉砂岩沉积为主,灰色或灰绿色,小型交错层理及脉状层理,有典型的砂包泥和泥包砂现象,砂体呈椭圆形或纺锤形,长:宽约为1:2~1:3,可以是顺水流方向的纵坝,也可

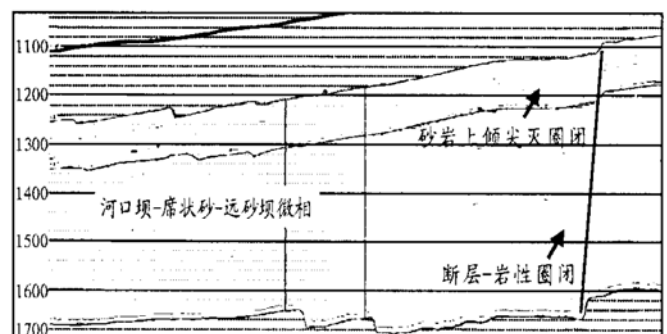


图4 w测线层序地层沉积微相构造解释(原图为彩图)

Fig. 4 Sequence stratigraphic interpretation of sedimentary microfacies structures along w traverse

以是垂直水流方向的横坝,砂体单层厚 5~ 8m, 往往出现多期河口坝的叠置;

4) 远砂坝特征与河口坝基本相似, 不同点是粒度变得更细, 以泥质粉砂岩及粘土沉积为主, 层理规模更小, 厚度更薄, 但往往出现多个远砂坝砂体互相叠置, 零星状散布于湖相泥中;

5) 席状砂为湖浪不断改造河口坝砂体而在三角洲最前缘形成的席状砂体, 以粉砂岩及泥质粉砂岩沉积为主, 常见与湖相泥互层, 以发育水平纹层为主, 分选磨圆好;

6) 滨浅湖是由湖浪作用对三角洲前缘沉积物不断地改造并被沿岸流侧向搬运在两个三角洲之间的滨浅湖地带发生沉积而成, 以泥岩及粉细砂岩沉积为主, 经常出现介形虫薄层及薄泥晶灰岩层;

7) 半深湖—深湖以深灰色、灰黑色薄层状泥岩为主, 水平纹层发育, 夹薄层粉砂岩和泥质粉砂岩, 含大量的黄铁矿自生矿物, 反映还原环境。

依据层序地层、测井相、地震相分析, 该区共存在 5 种类型的圈闭: 地层超覆圈闭、断层-岩性圈闭、砂岩透镜体岩性圈闭、砂岩上倾尖灭圈闭和构造-岩性圈闭。其在各微相带内的分布情况如下:

1) 水下分流主河道微相带发育地层超覆圈闭, 受二级相对湖平面控制;

2) 水下分流支河道与河口坝交互带发育构造-岩性、断层-岩性和砂岩透镜体岩性圈闭;

3) 席状砂-远砂坝微相带发育砂岩透镜体岩性圈闭和砂岩上倾尖灭圈闭。

4.2.2 隐蔽圈闭预测

隐蔽圈闭在常规地震剖面上(由于面积小、岩性多变、地震分辨率不高)往往难以识别, 波阻抗反演则很好地解决了这一问题。结合以上分析及反演地震剖面上层序地层、沉积微相、构造解释, 各圈闭在层序地层格架内的分布规律如下:

1) 砂岩上倾尖灭圈闭

砂岩上倾尖灭圈闭(如图 4 所示)是砂岩体沿上倾方向尖灭或渗透性变差而构成圈闭条件。其成藏机制是位于三角洲最前缘的砂体(主要位于河口坝-远砂坝-席状砂微相带)与构造背景有机配置, 形成砂体由下倾逆转上倾尖灭或局部构造翼部上倾尖灭。这类圈闭可见于层序的各个体系域而且自成体系。

2) 砂岩透镜体岩性圈闭

砂岩透镜体岩性圈闭(如图 5、图 6 所示)是由各种透镜状或不规则状的砂岩储集体四周为泥岩或渗透性不好的岩层所围限而形成的圈闭, 可以分布

于河口坝-席状砂-远砂坝微相带及水下分流河道微相带内。河口坝-席状砂-远砂坝微相带的砂岩透镜体往往规模小、数量多和成群出现, 可见于各个体系域; 水下分流河道微相带的砂岩透镜体往往规模大、数量少, 长轴方向垂直相带走向, 为分流河道的侧向迁移和分流河道砂体与分流间湾泥岩频繁互层形成的, 主要见于青三段中下部水进体系域。

3) 断层-岩性圈闭

断层-岩性圈闭是由砂岩储集层上倾方向为断层遮挡、侧向砂岩尖灭而形成的圈闭, 有时还有鼻状构造背景。它可分为两种情况: 一种是东倾的斜坡, 西侧上倾方向为断层遮挡, 与向东尖灭的砂体构成断层-岩性圈闭, 主要见于水下分流河道微相带内

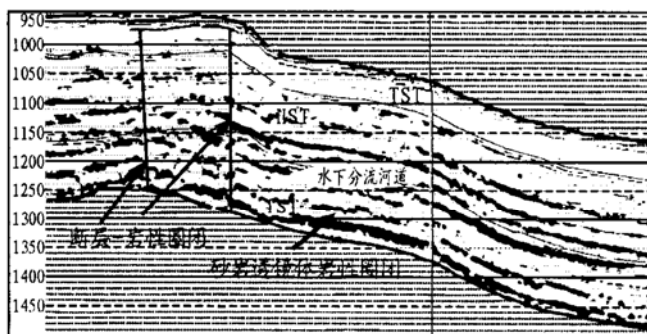


图 5 u 测线层序地层沉积微相构造解释(原图为彩图)

Fig. 5 Sequence stratigraphic interpretation of sedimentary microfacies structures along u traverse

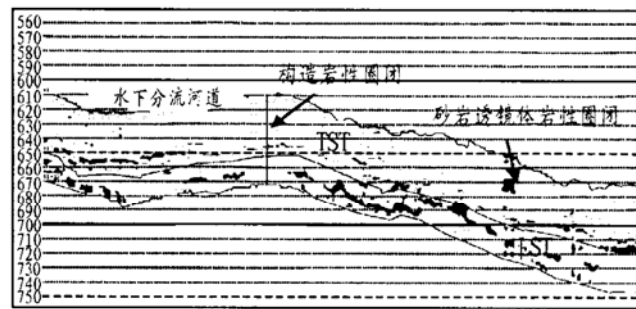


图 6 t 测线层序地层沉积微相构造解释(原图为彩图)

Fig. 6 Sequence stratigraphic interpretation of sedimentary microfacies structures along t traverse

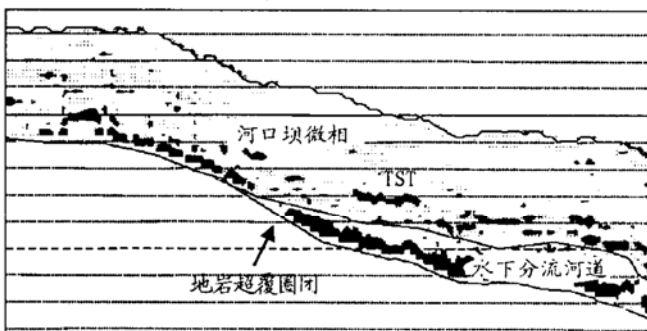


图 7 s 测线层序地层沉积微相构造解释(原图为彩图)

Fig. 7 Sequence stratigraphic interpretation of sedimentary microfacies structures along s traverse

(如图6所示);一种是西倾的斜坡,东侧上倾方向为断层遮挡,与向西尖灭的砂体构成断层-岩性圈闭,主要见于河口坝-席状砂微相带(如图5所示)。该类圈闭可见于各个体系域,主要取决于断层发育层位。

4) 构造-岩性圈闭

构造-岩性圈闭(如图6所示)受构造和岩性双重控制,储集岩体上倾方向被非渗透岩体围限,其岩性变化起决定性遮挡作用,同时储集体顶底板面也要由非渗透岩层组成才具封闭条件。该类圈闭可见于各个体系域,主要取决于构造发育层位。

5) 地层超覆圈闭

地层超覆圈闭(如图7所示)是在非渗透性底板的基础上沉积的渗透性岩层,其上又被非渗透性泥岩所超覆而形成的圈闭。形成地层超覆圈闭的主要控制因素有储集层的顶面形态及前缘遮挡层、盖层和被超覆线的形态。地层超覆圈闭主要见于水下分流河道微相带,主要形成于青一、二段和姚家组湖侵期。

5 结论

1) 松辽盆地南部青山口组及姚家组共划分为9个层序,20个体系域。

2) 在波阻抗反演地震剖面上,共识别出水下分流河道、河口坝-远砂坝-席状砂、滨浅湖、半深湖-深湖等几种沉积微相。

3) 对波阻抗反演地震剖面进行层序地层、沉积微相、构造解释共识别出构造-岩性、断层-岩性、砂岩透镜体岩性、砂岩上倾尖灭和地层超覆共5种类型的圈闭,并总结了它们在层序地层格架内的分布规律。

4) 验证了将反演地震剖面应用于层序地层学研究,进行隐蔽圈闭预测的可行性。

参考文献:

- [1] 杨斌,肖慈琦. 测井约束下的神经网络地震储层参数反演[J]. 矿物岩石, 1998, 18(增刊): 192-195.
- [2] 沙磊,等. 地震和测井资料联合反演储层物性参数计算方法[J]. 物探化探计算技术, 1997, 19(1): 11-14.
- [3] 李正文,杨谦. 地震宽带波阻抗剖面及应用[J]. 矿物岩石, 1997, 17(4): 94-98.
- [4] 董恩清,等. 波阻抗约束反演及储层参数计算方法[J]. 测井技术, 1998, 22(5): 8-10.
- [5] 徐怀大. 寻找非构造油气藏的新思路[J]. 勘探家, 1996, (1): 43-45.
- [6] Sangree J et al. A summary of exploration application of sequence stratigraphy [A]. GCSSEPM Foundation Eleventh Annual Research Conference Program and Abstract [C]. 1990. 320-327.

WAVE IMPEDANCE INVERSION AND ITS APPLICATION TO THE PREDICTION OF SUBTLE TRAPS

BAI Tao¹, XU Zhiwei²

(1. School of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China;

2. Jilin Oilfield, Songyuan, Jilin 131100, China)

Abstract: By using wave impedance inversion seismic profiles combined with logging and core data, the sequences of the Qingshankou and the Yaojia Formation in the Songliao Basin were preliminary interpreted, nine sequences and twenty system tracts were identified, and the sequence stratigraphic framework of this region was established. Based on the interpretation of sequence stratigraphy, sedimentary microfacies and structures on wave impedance inversion seismic profiles, five types of subtle traps were found, that is, stratigraphic overlap traps, tectonic-lithologic traps, sandstone updip pinchout traps, fault-lithologic traps and sandstone lens-shaped lithologic traps. Also, their distribution regularities in sequence stratigraphic framework were summarized.

Key words: sedimentary microfacies; sequence stratigraphy; subtle trap; wave impedance inversion