

基于反射系数反演的隐蔽油气藏 薄储层精细描述技术 ——以车排子地区白垩系为例

吴笛

(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:受地震分辨率及波形干涉影响,直接利用原始地震资料进行隐蔽油气藏薄储层精细描述的难度较大。基于反射系数数据体的地震反演是在对原始地震数据进行保幅去噪处理的基础上,通过分别提取时变、空变子波构建子波逆变换因子,利用分频算法选择主频数据体构建地质约束条件,最终计算求取反射系数数据体并进行解释的反演技术,该技术能够较大限度地消除地震资料中的各类干涉现象并提高地震数据的分辨率。针对车排子地区白垩系储层存在的砂体厚度薄,储层与地震反射特征对应关系较差的难题,利用基于反射系数反演对研究区隐蔽油气藏薄储层进行了精细描述。结果显示,砂体主要呈近南北向条带状、团块状不连续分布特征,主要分布于研究区的东部以及西部近岸区域,符合以滨浅湖砂体沉积为主、局部沉积扇三角洲砂体的沉积规律,根据反演结果将储层尖灭线向湖岸方向进行了合理外推,扩大了岩性圈闭的有效分布范围。

关键词:隐蔽油气藏 反射系数反演 薄储层精细描述 地震数据 分辨率 车排子地区

中图分类号:P631.44

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)04-0074-05

Fine description of thin reservoir of subtle hydrocarbon reservoir based on reflection coefficient inversion—a case study of the Cretaceous in the Chepaizi area

Wu Di

(School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing City, Helongjiang Province, 163318, China)

Abstract: It is difficult to use the original seismic data directly to describe the thin reservoir of subtle hydrocarbon reservoir due to seismic resolution and wave form interference. The reflection coefficient inversion based on reflection coefficient data cube is an inversion technology: original seismic data are firstly processed by amplitude preserving and data denoising and time varying wavelet and space varying wavelet are extracted respectively to construct wavelet inverse transform factor, then frequency cube obtained by frequency division algorithm is selected to construct the geological conditions, and finally reflection coefficient data cube for data interpretation are calculated and obtained. In this way, all kinds of interference phenomena can be eliminated effectively and the resolution of seismic data can be improved. According to the problems of the thin sand body in the Cretaceous reservoir of Chepaizi area and the poor corresponding relationship between the reservoir and seismic reflection, the thin reservoir of subtle hydrocarbon reservoir in the study area was described based on reflection coefficient inversion. Results show that the sand bodies stretch along nearly south-north discontinuously in belt or in massive block, mainly distribute in the eastern and western coastal areas of the study area, which agrees with the sedimentary law that the Cretaceous mainly develops shore-shallow lacustrine sand body as well as regional fan delta sand body. According to the inversion results, the pinchout line of reservoir was extrapolated reasonably to the shore to expand the effective range of the lithologic trap distribution.

Key words: subtle hydrocarbon reservoir; reflection coefficient inversion; fine description of thin reservoir; seismic data;

收稿日期:2015-05-07。

作者简介:吴笛(1992—),男,山东高密人,从事计算机技术与信息系统管理研究。联系电话:18945918255, E-mail:1249848641@qq.com。

resolution;Chepaizi area

随着隐蔽油气藏勘探进程的不断深入,针对目前勘探难点之一的薄储层识别与精细描述技术已成为研究的重点^[1]。由于通过原始地震数据提取的叠后地震属性与测井约束波阻抗反演等常规储层描述技术的预测结果存在多解性和精度低等问题^[2-4],尤其是在钻井较少、储层较薄、地震数据存在干涉出现强反射影响分辨率的情况下,进行储层的识别及精细描述的难度较大。而通过反射系数反演方法获得的反射系数体可以预测厚度远小于地震调谐厚度的薄储层,并且能够有效消除原始地震资料中的干涉现象,成为目前提高地震数据分辨率及薄储层识别的有效方法。

车排子凸起位于准噶尔盆地的西部隆起南段,其西面和北面邻近扎伊尔山,南面为四棵树凹陷,向东以红车断裂带与昌吉凹陷相接^[5-9]。针对研究区白垩系目的层钻探的排607、排1、排602等井均获低产工业油气流,说明该区白垩系含油广泛,潜力较大。但研究区白垩系储层厚度薄,储层与地震反射特征对应关系较差,导致砂体在尖灭区和剥蚀面附近受到强反射影响,难以形成有效反射,叠后地震属性提取等常规技术对其很难进行准确描述。笔者在对车排子地震数据进行去噪处理并改善其质量的基础上,利用基于反射系数的反演技术进行薄储层的预测研究,以期提高砂体分辨率以及对岩性圈闭及储层预测的精度,为加快研究区勘探、开发进程,指导井位部署提供依据。

1 反射系数反演技术原理

Widess^[10]通过对经典的楔状体模型进行分析,认为对于存在噪音的地震数据,其垂向极限厚度的分辨率为波长的四分之一($\lambda/4$)。而此后随着地震勘探理论和技术的发展,云美厚等^[11-13]认为可以通过子波压缩、频谱拓宽等特殊处理手段,来提高或者有限地改善现有地震资料的分辨力。凌云研究小组^[13]曾讨论过在相对保持振幅、频率、相位和波形的处理条件下,地震勘探可以突破 $\lambda/4$ 的极限。由此可见,识别厚度小于 $\lambda/4$ 的薄储层是有可能的。Portniaguine等^[14-15]通过将改进的匹配追踪算法应用到地震分频处理中,并由此进一步提出了基于叠后地震数据以获得奇偶部重构反射系数体的谱反演方法,在提高地震分辨率的同时,有效消除了原始地震数据中的干涉现象,从而能够实现对薄储

层发育特征的精细描述。该方法的Tikhonov正则化方程表达式^[14]为

$$\| \text{Real}(F \cdot m) - d \|_2 + \alpha S(n) = \text{Min}(re, ro, T, t) \quad (1)$$

式中: F 为子波逆变换因子; m 为反射系数模型; d 为实际地震道数据; α 为噪音相关因子; $S(n)$ 为地质约束条件; re 和 ro 分别为反射系数的偶分量和奇分量; T 和 t 分别为时窗大小和时窗位置,ms。

式(1)为欠定方程,最终目的是求取反射系数模型。其中子波逆变换因子和地质约束条件是2个重要的参数。

2 反射系数反演技术

反射系数反演技术主要是在对地震数据进行保幅去噪处理的基础上,通过分别提取时变、空变子波构建子波逆变换因子,通过分频算法选择主频数据体计算地质约束条件,最终求取反射系数数据体来进行反演,并对反演结果进行质量控制。

2.1 地震数据保幅去噪处理

高、低信噪比的地震数据反演结果对比显示^[16],随着噪音的增大,会造成反演结果可靠性变差,尤其是对于弱信号区,噪音直接导致弱信号区反演结果模糊、不连续。车排子地区白垩系原始地震数据的噪音能量较强,因此,在开展反射系数反演之前须对原始地震数据进行保幅去噪处理。

消除地震数据中的噪音主要采用叠后小波分频去噪的方法对原始地震数据开展保幅去噪处理。首先,利用小波变换开展分频处理,在保持优势频带不变的基础上,针对噪音主要分布的分频数据进行噪音压制,最后重构得到成果数据^[17]。从去噪前后的剖面对比结果(图1)可以看出,处理后的地震数据在去除噪音的同时,地震数据的振幅谱基本得到了保持,高频噪音频段的能量得到合理压制,去噪效果较为明显,为反演计算奠定了基础。

2.2 子波逆变换因子构建

合理去除子波是由地震数据得到反射系数的关键技术环节。实际地震记录中的子波不仅在纵向上的同一道地震数据中存在差异(时变),在横向上的同一条地震同相轴上也存在差别(空变)。因此,必须通过设置合理空间网格来控制所求取子波的精度,使其在去除子波的同时能够得到正确的反

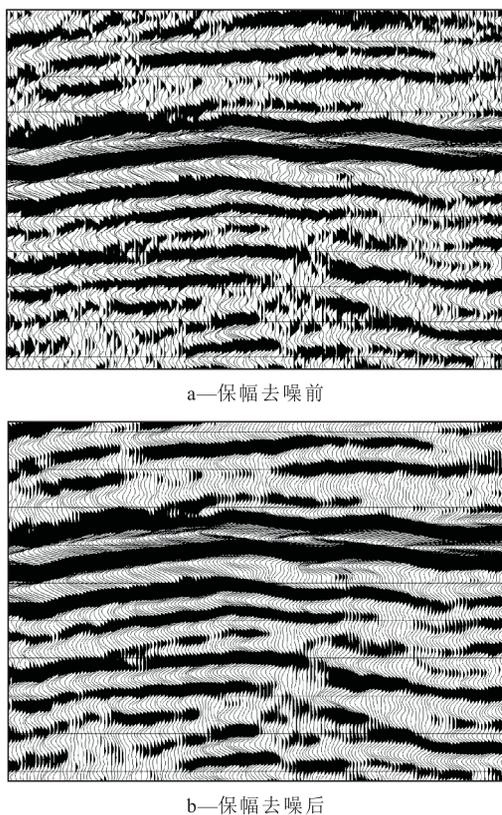


图1 原始地震数据保幅去噪处理前后对比

Fig.1 Comparison of the results between the original seismic data and the processed data after amplitude preserving and denoising

射系数数据。实际求解过程中,首先,在多井合成记录精细标定的基础上,基于匹配追踪算法计算三维地震数据空间网格中的时变、空变子波,最终构建出子波逆变换因子。

2.3 地质约束条件计算

针对地质约束条件的计算方法较多,主要包括最小L1范数法约束和稀疏脉冲法约束等^[17]。由于最小L1范数法约束采用非线性迭代反演算法,虽然计算时间相对较长,但精度高且纵横向分辨能力较好;因此,主要采用该方法对车排子地区地震资料开展分频计算。利用地震数据通过L1范数分频算法计算得到研究区白垩系储层地震数据的主频为38 Hz,因此,反射系数反演以主频为38 Hz的分频数据体作为地质约束条件。

2.4 反射系数反演与质量控制

在确定子波逆变换因子和地质约束条件之后,通过参数调试确定噪音相关因子,当Tikhonov正则化方程获得极小值时,利用改进的匹配追踪算法进行迭代计算,即可求解出反射系数模型并根据奇偶分解算法重构用于反射系数反演的数据体。

为了检测反射系数反演的质量,须通过已钻井的声波测井数据对其进行质量控制。声波测井能

够反映地层的速度信息,在声波测井曲线上的每一个转折点都代表一个反射界面,即存在一个反射系数。将研究区的反射系数剖面与声波测井曲线转换的速度曲线进行标定对比,如果速度曲线上反射界面与反射系数剖面有较好的对应关系,则说明计算中使用的参数合理,计算结果比较可靠;反之,则须重新调整参数进行反演。

通过该方法得到的反射系数反演成果在保持原始频谱特征的基础上,有效频带得到拓宽,地震数据的分辨率得到了提高,强轴能量减弱,同时剖面中反射界面、接触关系等更加清晰,可以识别出更多的与隐蔽油气藏薄储层相关的地层变化细节。

3 应用实例

车排子地区白垩系的地震数据信噪比较低,地层内部有效反射较弱并且同相轴的连续性很差。虽然反射系数反演获得的数据体具有较高的地震分辨率,但是如何利用反演数据体在研究区开展薄储层顶底反射及超剥、削蚀点的识别与精细描述,依然存在一定困难。笔者在井震精细标定和地质模型正演对比的基础上,开展了基于反射系数反演的目的层薄储层精细描述。

3.1 井—震精细标定确定薄储层顶底界面

研究区白垩系薄储层顶底界面的识别主要基于合成记录精细标定。研究区钻井较多,可以在平面上确定储层的平面分布范围。通过对排614、排602-1、排602、排627等13口井开展合成记录精细标定及追踪(图2),确定白垩系储层的顶底反射系数界面,明确了其在反射系数剖面中的垂向位置。就储层厚度而言,不同构造部位差别较大,但基本表现为向湖岸方向逐渐减薄的趋势。其中,在排

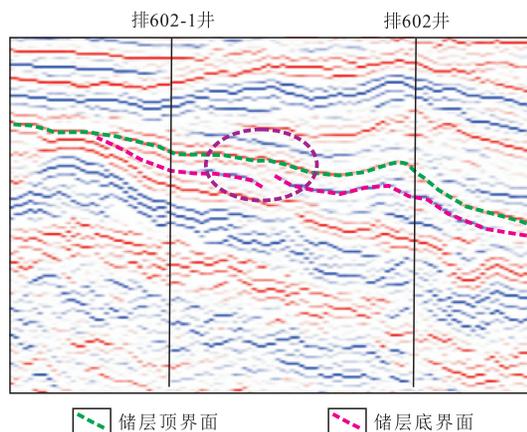


图2 过排602-1和排602井反射系数反演结果

Fig.2 Inversion results of reflection coefficient in the section crossing Well Pai602-1 and Well Pai602

602-1井的砂体厚度较大,排602井处厚度较小,这与实钻井揭示的情况基本一致;2口井之间的砂体在常规地震剖面中表现为横向上连续分布,而反射系数剖面上则显示该套砂体有断开的趋势。

3.2 地质模型正演模拟与反演结果对比

针对研究区砂体尖灭点在反射系数反演剖面中地震响应特征的识别,主要应用砂体超覆尖灭地质模型正演模拟进行验证分析(图3)。首先,通过正演方法得到理论模型和实际模型的地震记录(图3b),然后将理论模型的反射系数反演结果与实际模型模拟结果进行对比,结果显示,在主频为38 Hz的情况下,反射系数反演剖面解释的砂体尖灭点与实际砂体尖灭点误差为4~6 m(图3c)。当砂体底界下伏地层由低速变为高速时,反射系数也由负变正,但在尖灭点处变化并不连续,且反射特征具有

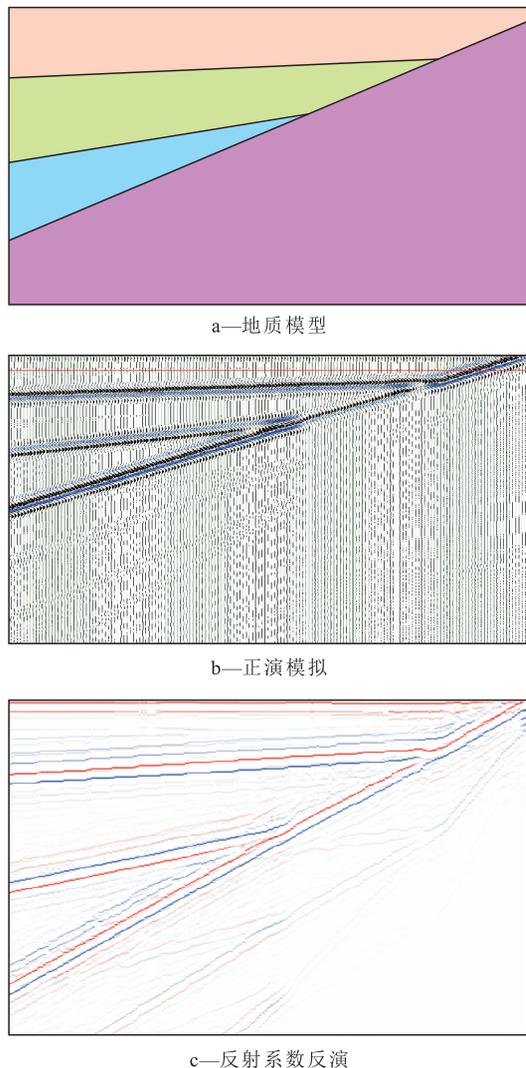


图3 砂体超覆尖灭地质模型正演模拟与反射系数反演结果对比

Fig.3 Comparison between the forward modeling results and reflection coefficient inversion results of sand body overlapping pinchout line

上翘现象。对比结果表明反射系数反演对尖灭点地震响应特征的识别与实际地质模型吻合度较高。

3.3 基于反射系数反演的储层精细描述

在明确基于反射系数反演剖面储层尖灭点响应特征及其描述误差的基础上,通过对反射系数反演结果进行三维精细描述,对研究区白垩系底部砂体储层的空间展布进行了预测(图4)。结果显示,砂体储层在平面上以近南北向的条带状、团块状展布为主,发育零散,整体呈现出非连续分布的特征,主要分布于研究区的东部以及西部近岸区域,预测结果符合研究区以滨浅湖砂体沉积为主,局部为扇三角洲沉积的沉积规律。与原始地震数据确定的砂体尖灭线相比,基于反射系数反演结果预测的储层尖灭线向湖岸方向进行了合理外推,有效扩大了研究区岩性圈闭的有效范围。

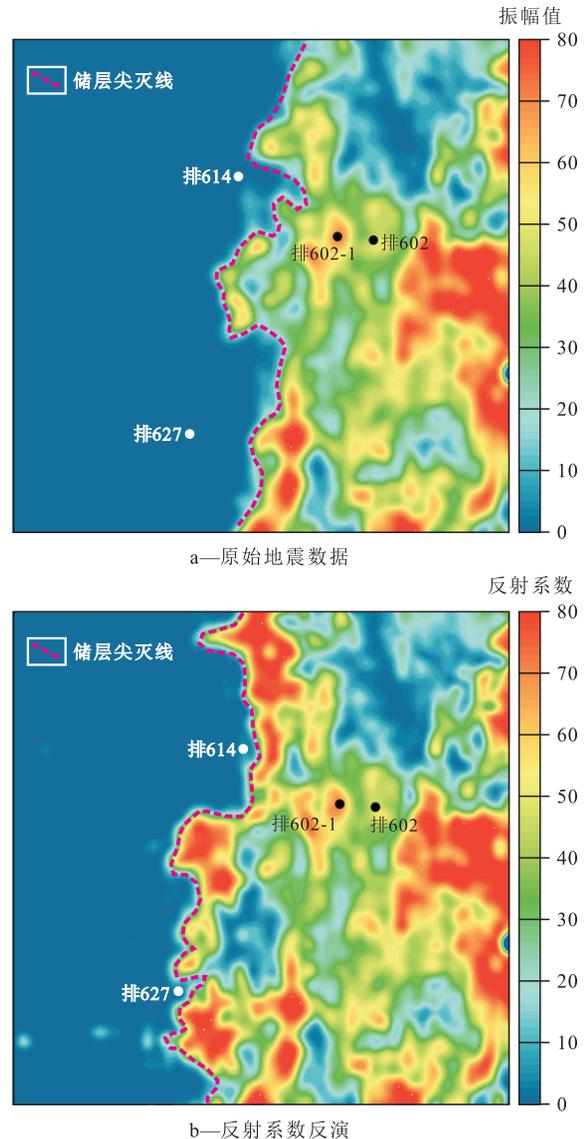


图4 原始地震数据与反射系数反演结果对比

Fig.4 Comparison between the original seismic data and the inversion results of the reflection coefficient

4 结论

基于反射系数数据体的地震反演是在对原始地震数据进行保幅去噪处理的基础上,通过分别提取时变、空变子波构建子波逆变换因子,利用分频算法选择主频数据体构建地质约束条件,最终计算求取反射系数数据体并进行解释的反演技术,该技术能够较大限度地提高地震数据的分辨率。针对车排子地区白垩系储层存在的砂体储层厚度薄,储层与地震反射对应关系较差的难题,开展了基于反射系数反演的薄储层精细描述技术应用。其储层预测结果符合研究区以滨浅湖砂体沉积为主、局部为扇三角洲沉积的沉积规律,基于反射系数反演结果预测的储层尖灭线向湖岸方向进行了合理外推,有效扩大了研究区岩性圈闭的有效范围。

参考文献:

- [1] 张娟.基于多元线性回归分析的薄储层预测技术在胜利探区的研究与应用[J].工程地球物理学报,2013,1(1):91-95.
Zhang Juan.Research and application of thin reservoir prediction techniques based on multiple liner regression in Shengli exploration area[J].Chinese Journal of Engineering Geophysics,2013,1(1):91-95.
- [2] 刘玉珍.纵横波联合反演在储层预测中的应用——以沾化凹陷罗家地区沙一段生物灰岩为例[J].油气地质与采收率,2014,21(3):45-47,51.
Liu Yuzhen.Application of compressional and shear wave joint-inversion in prediction of reservoir—an example of biological limestone in Es₁ of the Shahejie formation in Luoia area of Zhanhua sag[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2014,21(3):45-47,51.
- [3] 沈财余,江洁,赵华,等.测井约束地震反演解决地质问题能力的探讨[J].石油地球物理勘探,2002,37(4):372-376.
Shen Caiyu, Jiang Jie, Zhao Hua, et al.Approaching ability of using well-log-constrained inversion to solve geologic problems[J].Oil Geophysical Prospecting,2002,37(4):372-376.
- [4] 王玉梅.叠前地震反演精度影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(1):55-58.
Wang Yumei.Study of influential factors on pre-stack seismic inversion accuracy[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2013,20(1):55-58.
- [5] 沈扬,贾东,赵宏亮,等.准噶尔盆地西部车排子凸起新近系沙湾组成藏体系与富集规律[J].地质通报,2010,29(4):581-588.
Shen Yang, Jia Dong, Zhao Hongliang, et al.Shawan Formation pool-forming system and enrichment regular pattern in Chepaizi uplift, western Junggar Basin, China [J].Geological Bulletin of China,2010,29(4):581-588.
- [6] 孔玉华,鲍海娟,李振华,等.准噶尔盆地中拐凸起佳木河组层序地层模式[J].特种油气藏,2014,21(5):60-64.
Kong Yuhua, Bao Haijuan, Li Zhenhua, et al.Sequence stratigraphic mode of Jiamuhe Formation in Zhongguai Bulge, Junggar Basin[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2014,21(5):60-64.
- [7] 刘传虎.准噶尔盆地隐蔽油气藏类型及有利勘探区带[J].石油实验地质,2014,36(1):25-32.
Liu Chuanhu.Subtle reservoir type and favorable exploration belts in Junggar Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(1):25-32.
- [8] 赵东娜,朱筱敏,董艳蕾,等.地震沉积学在湖盆缓坡滩坝砂体预测中的应用——以准噶尔盆地车排子地区下白垩统为例[J].石油勘探与开发,2014,41(1):55-62.
Zhao Dongna, Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, et al.Application of seismic sedimentology to prediction of beach and bar sandbodies in gentle slope of lacustrine basin: A case study of the Lower Cretaceous in Chepaizi area, Junggar Basin, NW China[J].Petroleum Exploration and Development,2014,41(1):55-62.
- [9] 王军.准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征[J].油气地质与采收率,2013,20(4):30-32,36.
Wang Jun.Sedimentary characteristics of Neogene Shawan formation reservoirs in Chepaizi area, Junggar basin[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2013,20(4):30-32,36.
- [10] Widess.How thin is a thin bed[J].Geophysics,1973,42(3):112-119.
- [11] 云美厚,丁伟.地震分辨率新认识[J].石油地球物理勘探,2005,40(5):603-608.
Yun Meihou, Ding Wei.New knowledge about seismic identifying capability [J].Oil Geophysical Prospecting,2005,40(5):603-608.
- [12] 云美厚,丁伟,杨凯.地震道空间分辨率研究[J].地球物理学进展,2005,20(3):741-746.
Yun Meihou, Ding Wei, Yang Kai.Study on the spatial resolution of seismic trace [J].Progress in Geophysics,2005,20(3):741-746.
- [13] 凌云研究小组.应用振幅的调谐作用探测地层厚度小于1/4波长地质目标[J].石油地球物理勘探,2003,38(3):268-274.
Lin Yun Study Group.Application of amplitude tuning in surveying geologic target thickness less than 1/4 wavelength [J].Oil Geophysical Prospecting,2003,38(3):268-274.
- [14] Portniaguine O, Castagna J P.Spectral inversion: Lessons from modeling and Boonesville case study [C].SEG Expanded Abstracts,2005:1 638-1 641.
- [15] Portniaguine O, Castagna J P.Inverse spectral decomposition [C].SEG Expanded Abstracts,2004:1 786-1 789.
- [16] Satinder Chopra, John Castagna, Oleg Portniaguine.Seismic resolution and thin-bed reflectivity inversion [J].CSEG Recorder,2006,11(2):19-25.
- [17] 秦德文.基于谱反演的薄层预测与反演方法研究[D].东营:中国石油大学(华东),2009.
Qin Dewen.Thin bed prediction using spectral inversion and inversion method analysis [D].Dongying: China University of Petroleum (East China),2009.