

文章编号: 0253-9985(2007)03-0401-06

# 新近系馆陶组上段储层预测方法 ——以济阳坳陷沾化凹陷垦东北部地区为例

靖 辉<sup>1</sup>, 张晓武<sup>2</sup>, 赵铭海<sup>3</sup>(1. 中国石油大学, 北京 102249 2. GNT 国际公司, 北京 100029 3. 中国石化 胜利油田有限公司  
地质科学研究院, 山东 东营 257001)

**摘要:** 综合分析垦东北部地区新近系馆陶组上段储层速度分析和正演分析结果, 结合储层地质特征, 提出适合本区储层预测的 3 种方法: 1) 由于孤立河道具有强振幅、透镜状的地震反射特征, 可以应用可视化解释软件在振幅数据体上直接进行储层的立体追踪; 2) 连续的强振幅波峰和波谷指示砂岩的连续沉积, 砂岩与泥岩速度相近, 阻抗资料不能有效区分砂体, 因此可选用特征曲线反演进行储层的空间分布研究; 3) 本区典型气层速度远低于泥岩速度, 气层具有低阻抗特征, 因此波阻抗反演可以预测气层的空间分布。

**关键词:** 正演模型; 地震波阻抗反演; 储层特征曲线反演; 地震属性; 储层预测; 济阳坳陷

**中图分类号:** 122.2 **文献标识码:** A

## Reservoir prediction of the Upper Guantao Formation in the Neogene —an example from northern Kandong area in Zhanhua sag Jiyang depression

Jing Hui<sup>1</sup>, Zhang Xiaowu<sup>2</sup>, Zhao Minghai<sup>3</sup>(1. China University of Petroleum, Beijing 102249 2. GNT International Company, Beijing 100029  
3. Geoscience Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257001)

**Abstract** Three reservoir prediction approaches are proposed based on reservoir characteristics, reservoir velocity, and forward modeling analyses in northern Kandong. 1) direct 3-D tracing of the reservoirs on amplitude data volume can be performed with visualized interpretation software since the isolated river channel sands feature in seismic reflectance signatures of high amplitude and lenticular shape; 2) characteristic curve inversion can be an option in the study of spatial distribution of reservoirs due to the facts that continuous crests and troughs of high amplitude indicate a successive sedimentation of sandstone and similar velocities of sandstone and mudstone render an ineffective distinction of sandbody through impedance data; and 3) wave impedance inversion can be used in prediction of the spatial distribution of gas reservoirs because the typical gas reservoirs in the study area show low impedance and a velocity far lower than that of mudstone. An integrated application of the three approaches is of great significance in improving the accuracy of reservoir prediction and performing lateral prediction of reservoirs in the study area.

**Key words** forward model; seismic wave impedance inversion; reservoir characteristic curve inversion; seismic attribute; reservoir prediction; Jiyang depression

垦东地区位于济阳坳陷沾化凹陷的东部, 是一个在前新生界潜山背景上发育起来的新近系披

覆、古近系超覆的高潜山披覆构造带。主力含油气层系为新近系馆陶组 (Ng)、明化镇组 (Nm)。

收稿日期: 2007-03-15

第一作者简介: 靖辉 (1969—), 男, 博士研究生, 石油地质

垦东凸起向桩东凹陷倾伏的斜坡带,是垦东北部斜坡与孤东潜山披覆构造带的过渡带,紧邻黄河口凹陷,油源充足,具有良好的供烃条件,且发育岩性、岩性-构造等多种圈闭类型,目前已有多口探井在新近系馆陶组上段(以下简称馆上段)获得工业油流,显示本区具有良好的勘探潜力<sup>[1-6]</sup>。研究区油气藏相对集中分布于馆上段④—⑨砂组,油藏类型主要以岩性-断鼻油藏为主,但油藏储层横向及物性变化大,油气藏控制因素复杂,综合运用新方法和新技术,研究储层的横向分布特征,明确油气藏控制因素,对勘探进程具有重要的理论和实际意义。

1 构造特征

垦东地区是一个在前新生界潜山背景上发育起来的新近系披覆、古近系超覆的高潜山披覆构造带,整体北东倾,倾伏幅度较大,并最终倾没于桩东凹陷。平面上在东西方向上具有凸凹相间的构造形态,主要发育垦东 4、垦东 1 两个大型鼻状构造(图 1)。

研究区断裂发育,依走向分为 3 组断层:北北东-北东向、北东东向和近南北向。断层平面上主要有两种组合方式:一为雁行式,南北-北北东

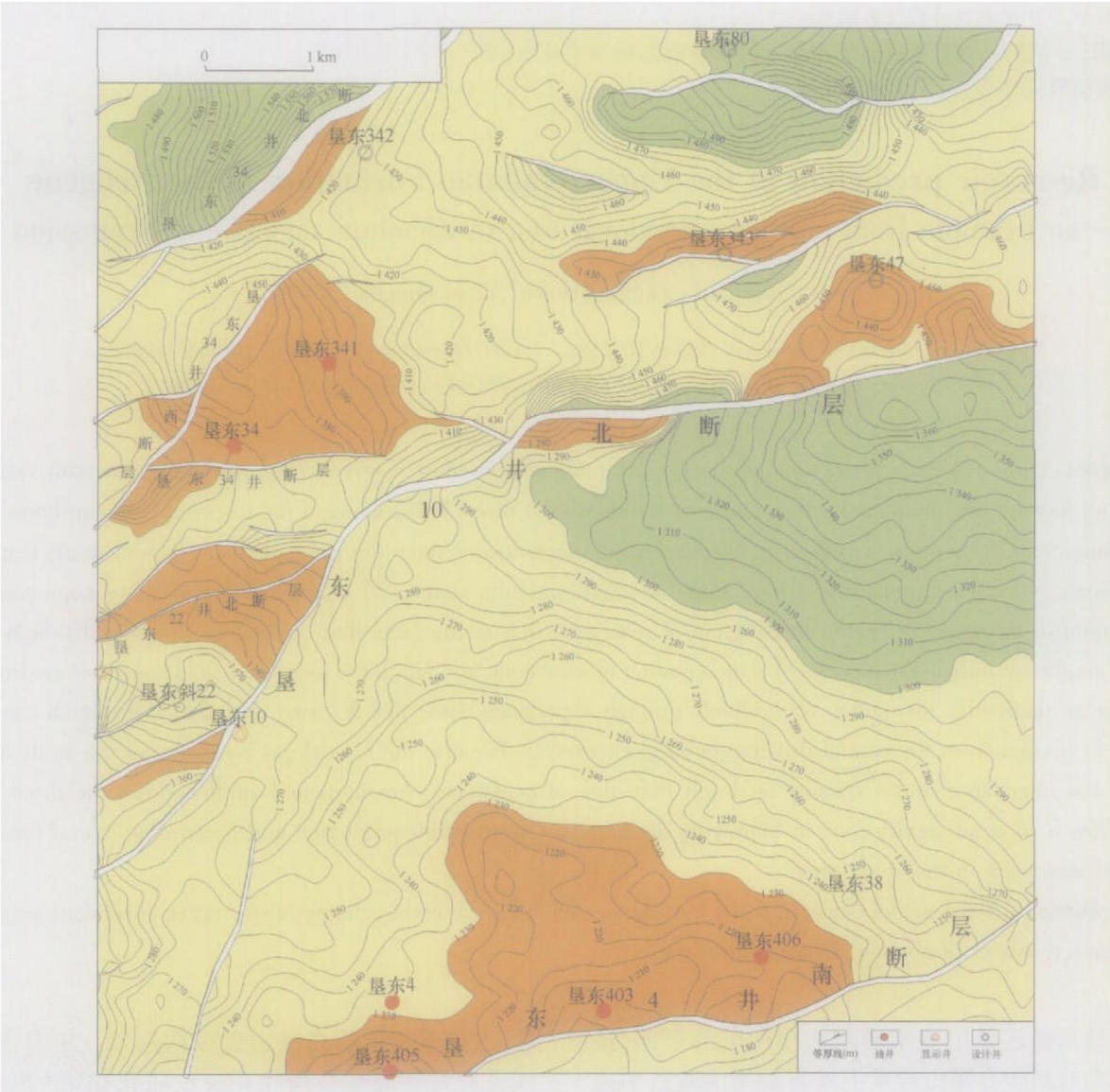


图 1 垦东 4—垦东 34井馆上④底构造

Fig.1 Structural map of the bottom of Ng<sub>4+5</sub> across Well K endong-4 and Well K endong-34

向边界主断层排列方式; 另一为平行式, 多条北东东向断层平行排列, 组成顺向断阶带。

## 2 地层储层特征

研究区新近系馆上段为主要目的层 (图 2), 为曲流河沉积, 地层厚 300~335 m, 砂岩厚 40~80 m。根据岩电性组合特征及沉积发育的旋回性划分为 iv + ⑦—⑩ 6 个砂层组, 每个砂层组厚度约为 40~60 m, ④—⑥ 砂组泥岩地层沉积较稳定, 砂岩沉积变化快, 纵向上相互叠置, 横向上连通性差。砂岩主要为中、薄层浅灰色中砂岩、粉砂岩及细砂岩。分选好, 次圆状, 单层平均渗透率在  $129.360 \times 10^{-3} \sim 238.585 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 最高为  $326.881 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 单层平均孔隙度在 17.7%~28.1% 之间。馆上段储集性能好, 另外该层段具有泥包砂的沉积特征, 为有利的储盖组合, 易形成油气藏, 油气主要发育在 1360~1440 m 深度。

## 3 储层识别与预测

### 3.1 测井曲线标准化

在进行储层预测<sup>[7-14]</sup>之前, 必须对所利用的测井资料进行环境校正和标准化处理, 以确保所得到的研究结果真实可靠。研究区馆上段 iv—⑩砂组为明显的泥包砂特征, 选取该段为标准层, 采用直方图法进行声波时差标准化。从研究区明化镇组底—馆上段 ④砂组底界的泥岩平均声波时差在垦东 406 井区为  $415 \mu\text{s/m}$ , 垦东 10 井区平均泥岩声波时差最大为  $455 \mu\text{s/m}$ , 与从垦东 406—垦东

10 构造由浅变深的构造趋势相反。在已钻 9 口井馆上 iv—馆上 ⑩平均泥岩声波时差统计主峰值为  $450 \mu\text{s/m}$ , 垦东 403、垦东 406、垦东 38 等井声波时差较低, 速度偏高。按照标准化原则, 对各井声波时差进行了校正, 校正后使得各井泥岩声波时差趋势统一。

### 3.2 储层的测井速度响应与正演分析

#### 3.2.1 测井速度分析

研究区馆上段储层以粉砂岩和细砂岩为主, 由于区内已钻井分布集中在垦东 34 井区和垦东 403 井区两块, 对馆上段的速度进行分块统计, 砂岩速度在 2400~2600 m/s 左右, 其泥岩盖层速度在 2200~2500 m/s, 总体砂岩速度高于泥岩速度。对比两块砂、泥岩速度, 总体上, 砂岩速度大于泥岩速度, 但砂泥岩速度相互交错, 严格区分较为困难, 因此单一利用速度资料或波阻抗资料无法有效识别砂体。

#### 3.2.2 正演分析

由于垦东 34 井具有多个气层和油层, 可根据该井构筑多个模型进行正演, 用以分析储层在速度、频率变化时的地球物理响应特征。

##### 1) 透镜状河道砂体正演模型

以垦东 4—垦东 405 连井线为原型, 在两井之间馆上段 iv + ⑦砂组对应反射层段有透镜状反射, 将其解释为孤立河道, 并建立相应初始地质模型, 制作合成记录道。

##### 2) 气层相变正演模型

以垦东 34 井为原始井, 对其 1362.0~1368.3 m 的气层进行编辑, 使其声波曲线中间值从原始的

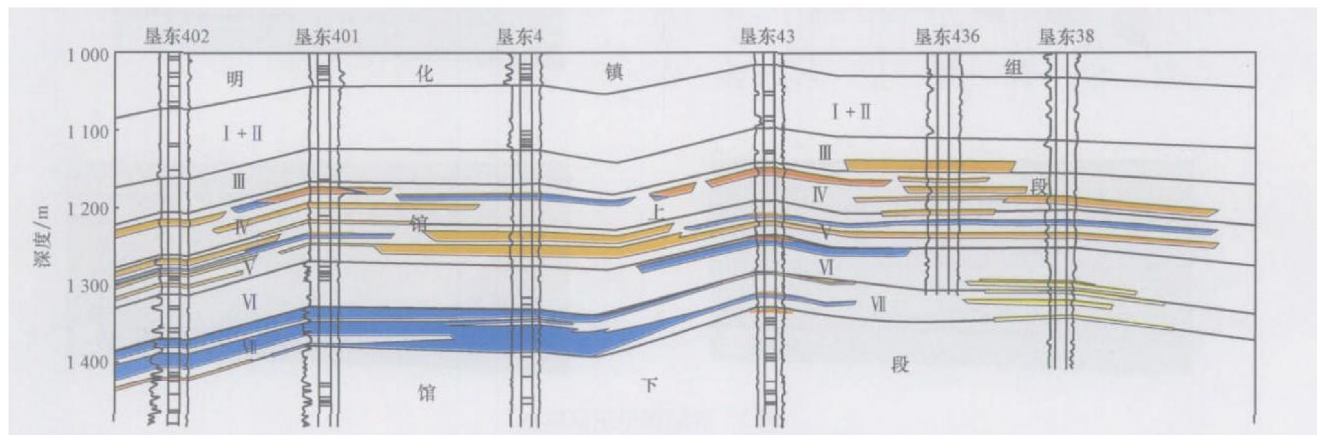


图 2 垦东 402—垦东 38 井油藏剖面

Fig. 2 Profile map of reservoirs across Well Kandong-402 and Well Kandong-38

684  $\mu\text{s/m}$  逐渐减小为 570 490 433 407 332 271  $\mu\text{s/m}$ , 响应的层速度由 1 462 m/s 增大到 1 754 2 040 2 309 2 457 3 012 3 690 m/s 形成 6 口虚拟井。以原垦东 34 井和上述 6 口虚拟井按 1 362.0~1 368.3 m 地层速度由小到大等距排列建立初始地质模型, 分别制作地震子波视主频为 26 30 38 和 45 Hz 的合成地震记录道。

### 3) 顶砂减薄正演模型

分别是泥岩隔层 6 m 顶砂减薄模型和泥岩隔层 10 m 顶砂减薄模型。以垦东 4 井为原型, 选取馆上段 (IX) 砂组连续两套 10 m 砂层的顶砂, 由厚减薄至无砂, 建成泥岩隔层为 6 m 和 10 m, 而顶部砂岩从 14 m 变为尖灭的初始地质模型。

### 4) 泥岩隔层减薄正演模型

上、下砂岩层厚度不变, 而中间泥岩隔层从 12.5 m 减薄至 0。在地质模型所得到的不同子波视主频合成记录道上, 随着视主频的提高地震分辨率提高, 连续的强波峰和强波谷指示砂岩连续沉积; 但在连续砂岩沉积时, 中间泥岩隔层的厚薄对上砂层的波谷与下砂层的波峰有一定的影响, 10 m 泥岩隔层比 6 m 振幅强。从顶砂减薄模型与泥岩隔层减薄模型分析, 上、下砂层对应的波谷特征是相同的, 都是顶层减弱变窄, 而下层不变。而对应砂层顶的波峰, 两个砂层在两个合成记录道上明显不同, 波峰波谷的振幅共同减弱指示砂岩

变薄, 至相变为泥岩, 而波峰减弱, 并与上层波峰复合且波谷保持强振幅, 则指示泥岩隔层减薄。

### 5) 砂层楔形正演模型

以垦东 34 井为原始井, 对其 1 362.0~1 368.3 m 和 1 384.4~1 390.6 m 层厚分别为 6.3 m 和 6.2 m 的气层和油层进行编辑 (层间距不变为 16 m), 两个层都变为 8 10 15 20 m 和 4.0 2.5 2.0 m 的 7 口虚拟井, 按由厚变薄的顺序制作成楔形初始地质模型, 分别制作地震视主频为 26 30 35 38 45 50 55 60 65 70 75 Hz 的合成地震记录道 (图 3)。

## 3.3 地震波阻抗反演

由于研究区目的层沉积相为曲流河沉积环境, 储层横向分布不稳定, 地震反射轴连续性较差, 同时多有短轴强振幅的透镜状反射, 而且区内钻井较少, 因此, 地震波阻抗反演应选用忠实于地震资料的反演方法。IS 地震反演是一种用快速模拟退火算法进行的全局优化的多道反演技术, 具有抗噪能力强、分辨率高、忠实地震资料等特点; 可同时适用于开发和勘探阶段——尤其井少情况下, 进行构造、岩性和断层的研究。利用 IS 软件进行地震波阻抗反演。

通过对研究内 9 口钻井进行测井曲线与层位校正, 提取了较好的实际子波, 从中选取最好的子波作反演子波。利用地震解释层位、实际子波和

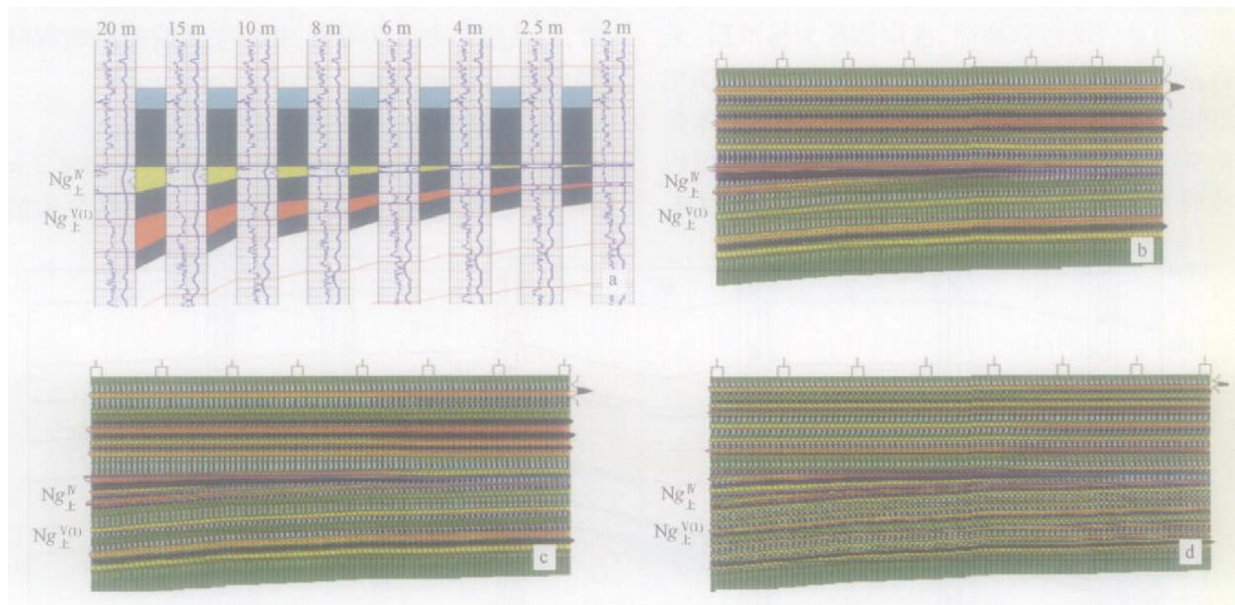


图 3 砂层楔形正演模型

Fig. 3 Forward model of sand wedge

a. 地质模型; b. 子波视主频 26 Hz 正演模型; c. 子波视主频 38 Hz 正演模型; d. 子波视主频 75 Hz 正演模型

测井曲线制做低频模型。最终由地震数据体、实际子波和低频模型反演出波阻抗数据体。

图 4和图 5分别是过垦东 34—垦东 341井过井地震剖面 and 波阻抗反演剖面, 可以看出, 反演结果保留了地震剖面的横向特征, 同时分辨率也得到提高, 如在原始地震剖面上垦东 34气层在两井之间为连续强波谷, 反演后在两井中部有明显的错断, 显示两井的相应砂层为相互叠置。

按照速度分析结论, 在波阻抗体上可以清楚的反应出气层的分布, 垦东 34井气层为明显的超低阻抗。以阻抗值低于  $40\,000\,000\,(\text{kg}/\text{m}^3)\cdot(\text{m}/\text{s})$  为门限值, 可直接圈定出馆上段 ⑥气层的平面分布范围和气层厚度 (图 6), 发现气层分布也明显受到河道分布的控制, 在河道局部高部位形成气藏, 总体上气藏沿着河道展布。

3.4 储层特征曲线反演

波阻抗资料不能有效分辨砂岩, 因此拟用对

储层有良好分辨能力的测井曲线重筑成声波曲线, 以达到反演识别砂体并进一步搞清砂体在空间的分布。

所谓储层地球物理特征重构技术, 就是针对具体的地质问题, 以岩石物理学关系为基础, 利用与岩性相关的测井响应重构具有同量纲的拟声波曲线, 使得它既能够反映地层速度和波阻抗特征, 又能够反映岩性差异, 从而建立起更好反映储层特征与地震之间的联系 (图 6)。

以重构曲线建立低频模型, 最后计算得到重构曲线反演数据体 (图 7)。从图 6可以看出, 每一个砂层在重构曲线反演数据体上都能够得到良好体现。按照重构曲线的低频趋势, 不同深度选用不同的门槛值自动计算砂层顶底旅行时差, 再用不同砂组的砂岩厚度与之相关, 即可得到不同砂组的砂岩等厚图, 馆上段 ⑥砂组上河道在研究区西北部呈孤立河道分布, 砂岩厚度较薄; 河道在研究区东南部叠合连片展布, 砂岩厚度较厚。

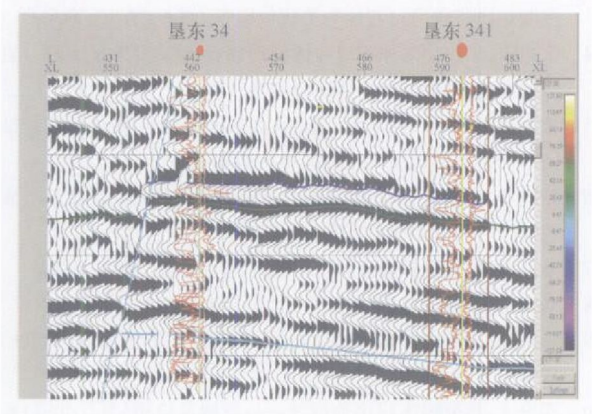


图 4 垦东 34—垦东 341井地震测线  
Fig. 4 Seismic line across Well K endong-34 and Well K endong-341

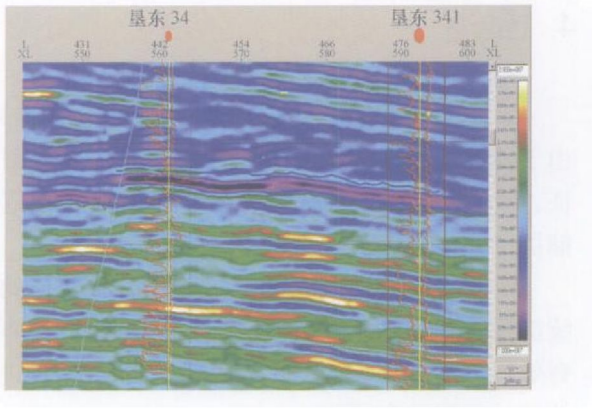


图 5 垦东 34—垦东 341井波阻抗剖面  
Fig. 5 Wave impedance profile across Well K endong-34 and Well K endong-341

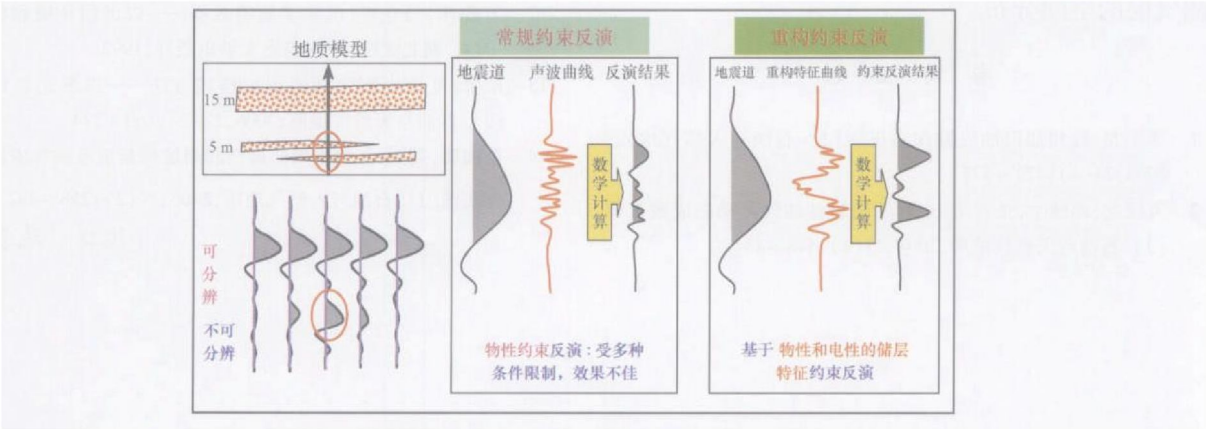


图 6 常规约束反演与重构特征曲线反演对比示意图  
Fig. 6 Correlation of conventional constrained inversion and reconstructed characteristic curve inversion

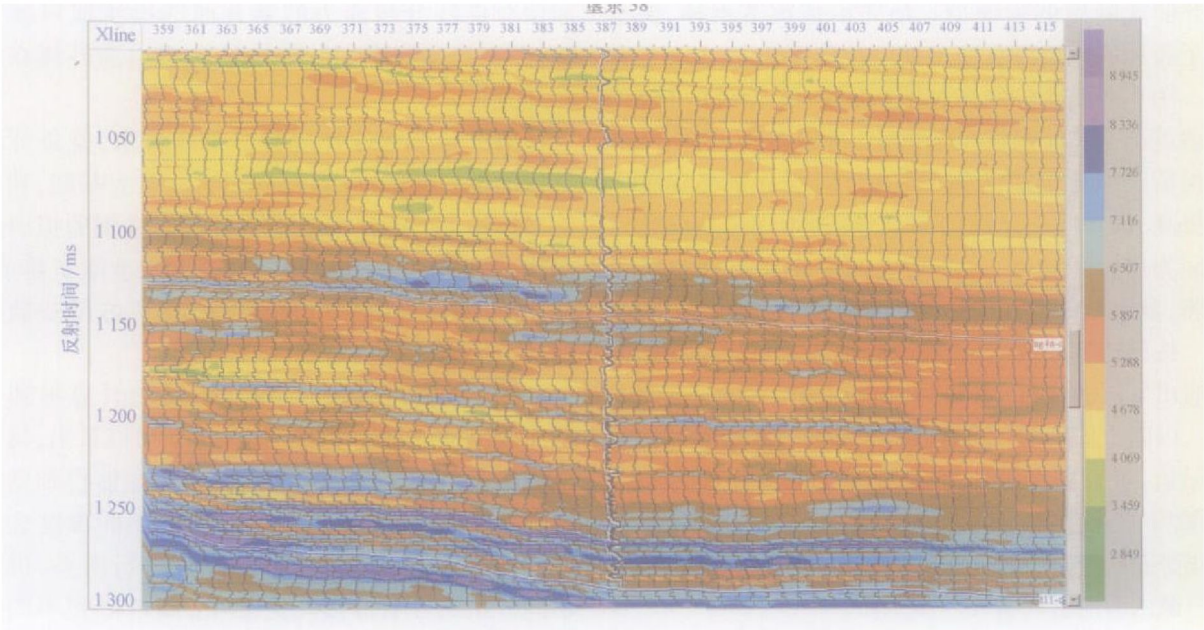


图 7 过垦东 38井主线 680重构曲线反演剖面

Fig.7 Reconstructed curve inversion profile along in-line 680 across Well K endong-38

4 结论

- 1)综合分析储层速度分析和正演分析结果, 由于孤立河道具有强振幅、透镜状的地震反射特征,可应用可视化解释软件在振幅体上直接进行储层的立体追踪。
- 2)连续的强振幅波峰和波谷,指示砂岩的连续沉积;由于砂岩与泥岩速度接近,阻抗资料不能有效区分砂体。因此,可选用特征曲线反演进行储层的空间分布研究。
- 3)由于研究区典型气层速度远低于泥岩速度,气层具有超低阻抗,因此,波阻抗反演可以预测气层的空间分布。

参 考 文 献

1 李丕龙. 胜利油田油气勘探新进展 [ J ]. 石油与天然气地质, 2004 24( 4 ): 472~ 477  
2 万晓龙, 邱楠生, 张善文. 东营凹陷岩性油气藏动态成藏过程 [ J ]. 石油与天然气地质, 2004 25( 4 ): 448~ 451

3 谭茂金, 杨邦伟, 贾黎, 等. 胜利老河口油田桩 106 井区馆陶组成藏规律研究 [ J ]. 石油与天然气地质, 2006 27( 1 ): 44~ 47  
4 张建宁. 牛庄洼陷浊积岩砂体储层物性地震预测方法 [ J ]. 石油地球物理勘探, 2005 44( 6 ): 716~ 720  
5 谈彩萍, 刘翠荣, 周新科, 等. 中国东部老油区油气成藏特征 [ J ]. 石油实验地质, 2004 2( 27 ): 144~ 150  
6 苏应雪, 张秉政. 济阳坳陷孤北古潜山逆断层的发现及其地质意义 [ J ]. 石油勘探与开发, 1987 14( 4 ): 42~ 47  
7 陆基孟. 地震勘探原理 [ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1993  
8 刘震. 储层地震地层学 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1997  
9 陈遵德. 储层地震属性优化方法 [ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1998  
10 邓宏文. 高分辨率层序地层学——原理及应用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 2002  
11 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学 [ M ]. 北京: 石油工业出版社, 2002  
12 万静萍, 马立祥. 沉积学简明教程——以沉积环境和相为主 [ M ]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 1992  
13 牟荣. 复杂小断块圈闭识别描述方法——以苏北盆地为例 [ J ]. 石油与天然气地质, 2006 27( 2 ): 269~ 274  
14 鲁国明, 刘魁元. 济阳坳陷高凸起斜坡带新近系油气成藏与勘探实践 [ J ]. 石油与天然气地质, 2006 27( 2 ): 258~ 262

(编辑 陈喜禄)