

文章编号: 1000-0550(2009) 05-0915-07

地震沉积学在陆相湖盆三角洲砂体预测中的应用

朱筱敏¹ 刘长利¹ 张义娜¹ 彭伟民²

(1. 中国石油大学(北京)资源与信息学院 北京 102249; 2 渤海钻探工程有限公司 河北廊坊 065007)

摘要 地震沉积学是利用地震资料研究沉积岩及其形成过程的一门新兴边缘学科, 是进行高频层序和沉积体系研究的有效工具, 在油气勘探和开发方面具有明显效果。利用频谱分解和地层切片多属性综合分析技术, 结合单井的岩性资料以及不同成因类型砂体的地貌形态, 在中亚某盆地三维地震资料区下白垩统开展地震沉积学应用研究。通过对一系列典型地层切片的分析, 可以看出研究层段主要为辫状河三角洲前缘水下分支河道砂体, 纵向上朵叶体多期叠置, 在辫状河三角洲水下分支河道砂体间沉积了相对稳定的薄层滨浅湖泥岩。

关键词 地震沉积学 频谱分解 地层切片 沉积微相展布

第一作者简介 朱筱敏 男 1960 年出生 教授 博士生导师 沉积学与石油地质 E-mail: xmzhu@cup.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

地震沉积学建立在地球物理学、沉积学、地震地层学及层序地层学等学科的基础上, 以地质规律为指导, 利用三维地震信息和现代地球物理技术进行沉积相平面展布及沉积发育史研究, 它是进行高频层序三维可视化的有效工具^[1]。地震沉积学是基于高精度三维地震资料、露头 and 钻井岩心资料建立的沉积环境模式的联合反馈, 是用以识别沉积单元的三维几何形态、内部结构和沉积过程的一项新的方法体系^[2]。从 1998 年曾洪流等首次提出“地震沉积学”一词, 经过国内外学者近十年的研究与实践, 地震沉积学在理论和应用方面均取得了较大的进展^[3~15]。

本次研究的三维地震工区位于中亚某盆地, 该盆地自下至上沉积了早侏罗世至白垩纪的陆相碎屑岩地层, 经历了断陷期、断拗转换期和拗陷期的构造演化阶段。白垩纪开始, 盆地内部各地堑停止强烈活动, 进入整体缓慢拗陷阶段, 部分地区遭受强烈剥蚀, 形成广泛分布的白垩系底部杂色砾岩, 为全区重要的储集层段。研究区内三维地震资料品质较好, 沉积现象丰富, 构造相对较简单, 断层不发育, 非常适合开展地震沉积学研究工作。通过对该区下白垩统 A 组进行频谱分解、地层切片多属性综合分析, 结合单井的测井、岩性资料, 精细地刻画了沉积砂体的展布特征。

1 频谱分解技术

频谱分解技术是近两年兴起的一种新的叠后地震数据处理和解释技术, 也是进行地震沉积学研究的强有力的技术手段。它是通过利用小波变换或傅立叶变换, 将地震数据由时间域变换到频率域, 然后, 沿层或固定时窗把地震反射波中的各频率成分对应的调谐能量识别出来而形成对应频率的能量异常图, 从而使得储层得以检测^[16, 17]。由于不同频率的地震信号对各种地质异常体的敏感度不同, 在对地质异常体厚度变化进行刻画和对地质异常体横向不连续性进行描述时, 可在频率域内对每个频率所对应的振幅进行分析, 这样排除了时间域内不同频率成分的相互干扰^[18]。

首先, 在研究区平面上任意选取一点 m (图 1a), 该点需能基本代表此时期的储集层沉积特征。然后, 在 A 组内任意选取时间 1 300 ms (图 1b), 此时便可以得到点 m (Line1142 Trace1246 Time1300) 的频谱曲线 (图 1c)。从频谱曲线上可以看出, 该任意点 m 的主频为 42 Hz。

随后, 固定时间 1 310 ms 任意选取 Line1200、Line1500 和 Line1800 三条主测线, 便得到三条相交线。相交线上, 随着联络测线号的改变, 频率也发生改变。但从其主频曲线上可以看出, 不同线上得到的主频仍在 40~44 Hz 左右。这验证了之前选取的点 m 的任意性和代表性, 也说明了该目的层段的主频为 42 Hz 左右。

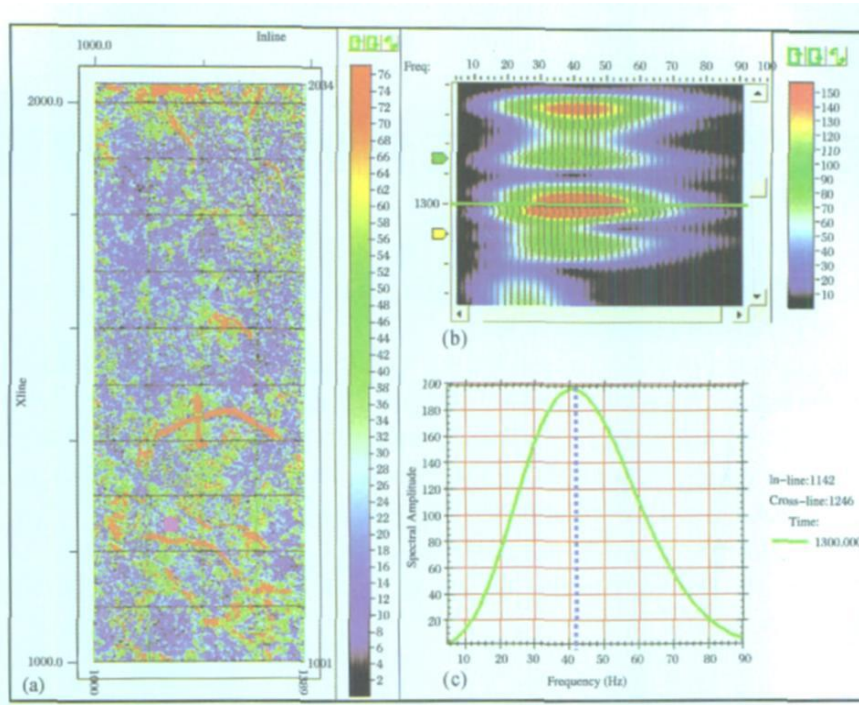


图 1 A 组任意点的频谱特征

Fig 1 The characteristics of frequency spectrum of arbitrary point in A formation

对目的层段沿地震反射层底界面向上 10 ms 开窗, 用 0~90 Hz 频率进行扫描, 得到了一系列调谐体, 并按照 1 Hz 频率进行图片显示, 直到获得最佳图像。通过观察 25 Hz、35 Hz、42 Hz、45 Hz、55 Hz、65 Hz 等频率成分的振幅图像 (图 2), 可以发现沉积体系的变化规律: 25 Hz 时对应的调谐振幅分布特征不清楚, 35 Hz 时异常体面积变大, 轮廓清晰, 至最大主频 42 Hz 时调谐振幅异常体变得轮廓清晰、相对稳定, 45 Hz 时异常体稍微变弱, 轮廓开始变得不清晰, 当超过主频范围, 至 55 Hz、65 Hz 时, 调谐振幅异常体逐渐变弱, 直至模糊。结合已有钻井信息和前人区域沉积体系的研究成果可知, 该异常体反映片状、浅水、粗粒的辫状河三角洲前缘水分支河道和支流间湾沉积。

2 地层切片多属性综合分析技术

地震切片分析技术是地震资料解释的一种常用手段, 其在油气勘探中的作用愈来愈大。目前, 常用的地震切片包括时间切片、沿层切片和地层切片。时间切片是沿某一固定地震旅行时对地震数据体进行切片显示, 切片方向垂直于时间轴 (图 3b), 这种切片方式适合席状且平卧的地层; 沿层切片是沿某一个没有极性变化的反射界面, 即沿着或平行于追踪同相轴

所得的层位进行切片 (图 3c), 这种切片方式适合席状但非平卧的地层; 地层切片是在具有等时对比意义的地震同相轴之间进行等比例内插, 产生的一系列等时切片 (图 3d), 当地层既非席状也非平卧时此种方法最适合。地层切片本质上是一种变时窗的属性分析技术^[19], 它考虑了沉积速率随平面位置的变化, 比其它两种切片方式更合理, 更接近等时界面, 这是它最大的优点, 也是本研究选用地层切片的原因 (图 3)。地震属性是对地震资料的几何学、运动学、动力学及统计学特征的一种测量, 也是各种地层信息、地质现象的反映。因此, 在沉积学理论指导的基础上, 将之前得到的地层切片结合地球物理多属性综合分析技术, 可以更好的进行地层岩性、沉积体平面展布等的研究。地震属性的分类很多, 其中, 振幅类属性是地震数据中最基本的也是最重要的属性。本次研究选取了振幅类属性中的均方根振幅属性和平均能量属性, 以及相关类属性中的相关长度属性来进行平面沉积相的辅助研究与分析 (图 4)。

由于研究区地震资料的采样率为 2 ms, 而 A 组在垂向上的时间厚度为 39~66 ms, 因此将其进行 20 等分, 从下至上分别为 1、2、3、...、20。图 4 是其中第 3 小层的平均能量属性图、均方根振幅属性图和相关长度属性图。从前两张振幅类属性图中可以看出, 该时

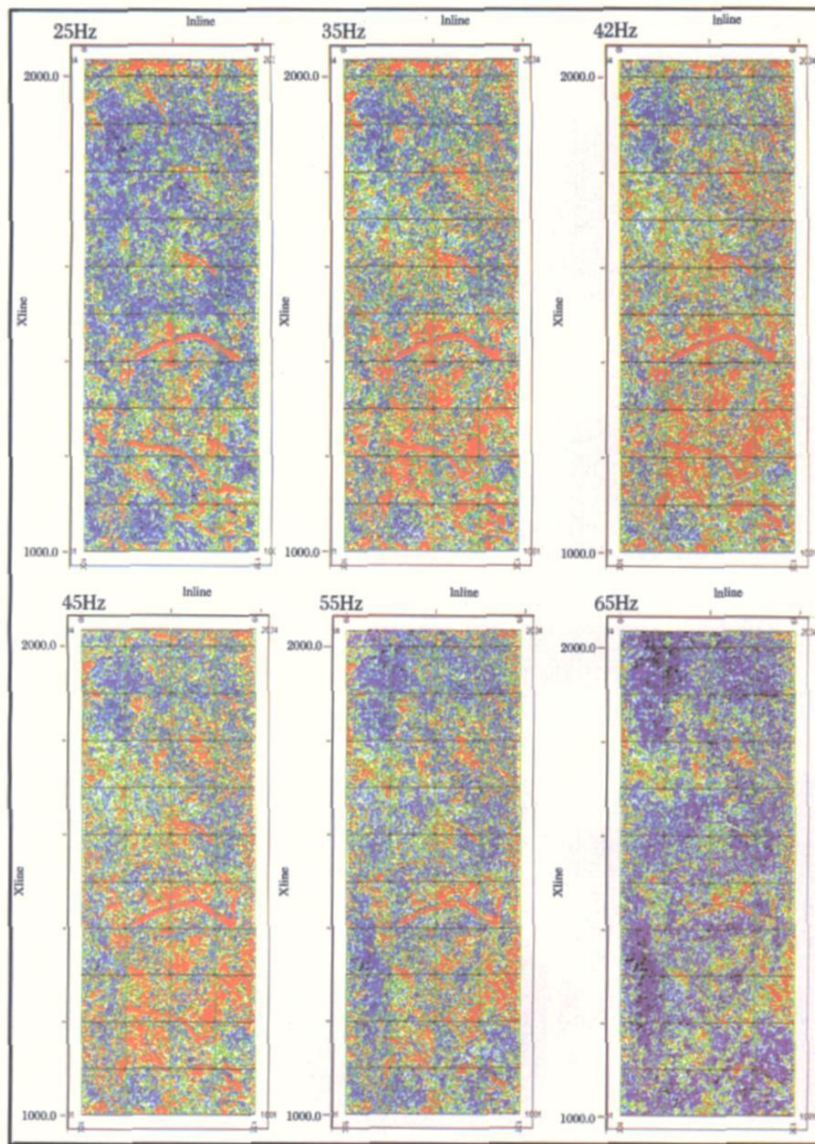


图 2 A 组不同频率下的振幅调谐体

Fig 2 Amplitude tuning bodies of different frequency in A formation

期能量整体较强,呈片状或宽的条带状,只在研究区北部能量较弱,南部的局部地方能量稍弱,且主体为由南向北延伸,反映了砂体的主要进积方向为由南至北。从相关长度属性图中可以看出,沉积体的相关性整体较好,局部稍弱,且也以南部稍好北部稍差为特点,该属性反映的特征不如振幅类清晰,但也可以作为判断储层各向异性和沉积体展布的辅助参照。可以看出,地震属性对沉积体展布、沉积微相边界的刻画具有很好的作用。

另外,统计了研究区 12 口关键井 A 组的均方根振幅大小与砂砾岩厚度关系曲线(图 5)。从两者关系图上可以看出,均方根振幅大小与砂砾岩厚度之间

具有定量的对应关系,两者整体呈正相关关系,随着砂砾岩厚度的增加,均方根振幅值增大,可据此预测储集层的分布。也可以认为地层切片属性图中强的负振幅区(黄色、红色区)代表的是厚层砂岩、砂砾岩,弱的负振幅区(蓝色、绿色区)代表的是薄层砂岩或泥质砂岩,强的正振幅区(紫色、黑色区)代表的是泥岩层或页岩层。

3 典型地层切片微相展布

从前人对研究区沉积相平面分布的研究成果可知,A 组沉积时期,研究区整体以大规模辫状河三角洲砂体为主,单井上,以杂色砾岩、砂砾岩、砂岩为

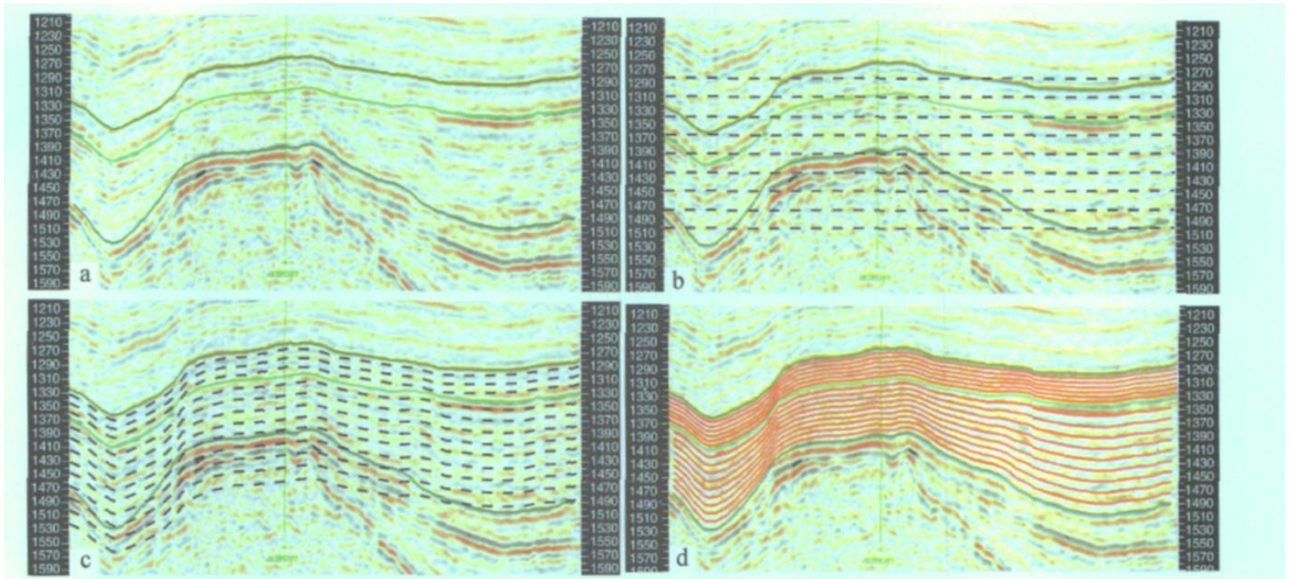


图 3 研究区三种地震切片方式对比图

a. 原始地震剖面; b. 时间切片; c. 沿层切片; d. 地层切片

Fig. 3 Three types of seismic slices in studying area

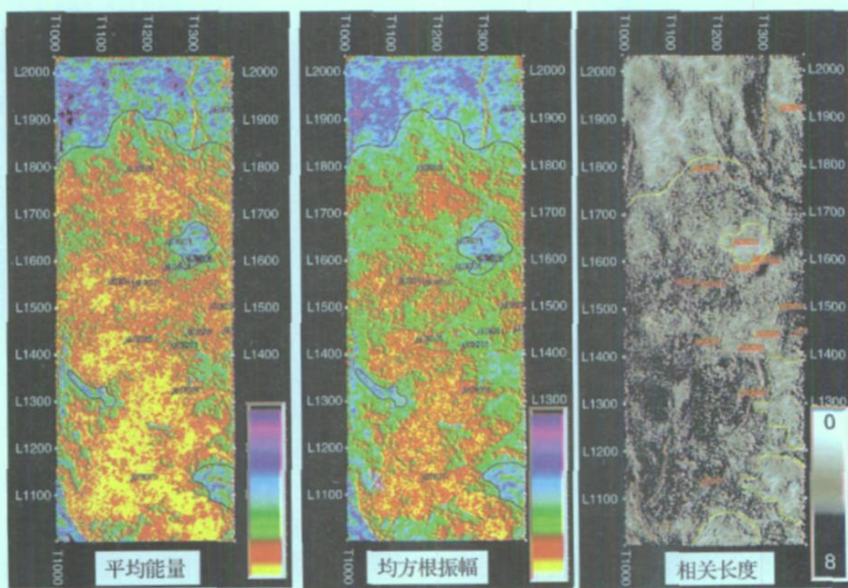


图 4 研究区地层切片多地震属性综合图

Fig. 4 Comprehensive seismic property of stratal slice in studying area

主,砾石粒度不均,富含砂,成分成熟度和结构成熟度较低。发育强牵引流成因的冲刷面、交错层理等反映强水动力环境的沉积构造,粗粒正韵律多次叠置。GR、SP等电测曲线上,呈底部突变的大幅度的箱型或反映正韵律的齿化钟形(图 6)。

从获得的 20 张地层切片中,可以清晰地看到 A 组从下至上沉积体系的展布与演化过程,图 7 为选取

的 3 张典型地层切片。

图 7a 切片上,研究区大部分为红色、黄色强负振幅,反映辫状河三角洲前缘水下分支河道砂体分布面积较大,单井上砂砾岩层厚度也较大,以 5~6 m 为主,最厚处达 10 m,厚层砂体连通呈条带状。物源方向整体来自南部,砂体由南向北推进,大片的强负振幅之间零星见紫色的正振幅,为砂体间的泥质沉积,

强负振幅北端为席状紫色正振幅区, 为滨浅湖泥质沉积环境。

图 7b切片上, 整个研究区均为蓝色、紫色正振幅, 单井上对应为棕红色、灰绿色泥岩段, 反映此时湖水发生了较大规模的进积, 沉积了一套较稳定的薄层湖相泥岩。

图 7c切片继承了 7a的沉积特征, 但此时辫状河三角洲向物源方向发生后退, 朵叶体面积变小, 只在工区南部发育。

从以上典型地层切片的沉积微相解释也可以看出, A组沉积时期, 研究区整体为辫状河三角洲前缘水下分支河道砂体, 物源供给充分, 水动力较强。三角洲朵叶体平面上不断进积、迁移, 纵向上多期相互

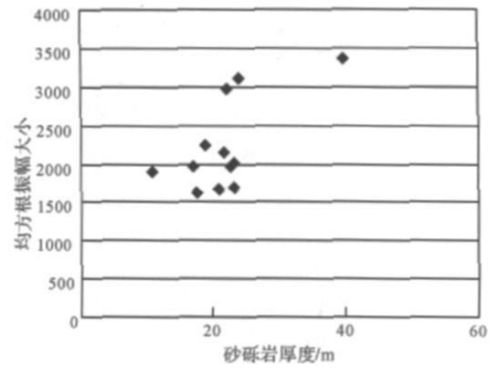


图 5 研究区 A 组均方根振幅大小与砂砾岩厚度关系图

Fig 5 The relation between RMS amplitude and thickness of sandstone and conglomerate

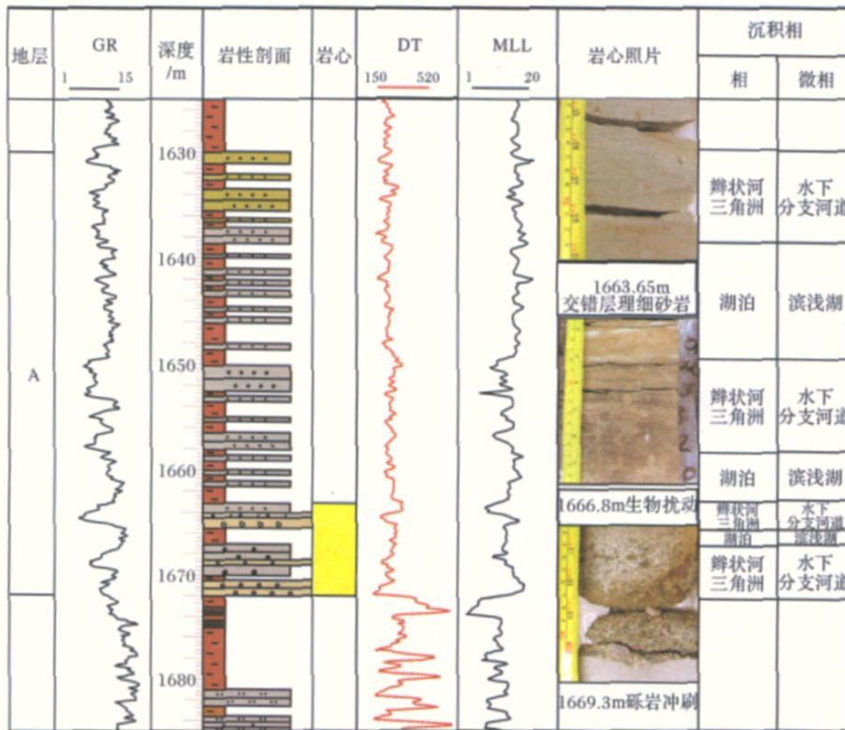


图 6 研究区辫状河三角洲、滨浅湖岩电特征

Fig 6 Lithologic and well logging characteristics of braided delta in studying area

叠置。期间, 在整体湖进的背景下, 湖水时进时退, 在辫状河三角洲水下分支河道砂体间沉积了相对稳定的薄层滨浅湖泥岩。

4 结论

地震沉积学借助频谱分解、地层切片多属性分析等地球物理手段, 在井间沉积微相和地层岩性预测中

具有独特的优势, 显示了良好的应用前景。对中亚某盆地地下白垩统 A 组三维地震资料区进行了地震沉积学的研究, 通过对一系列典型地层切片的分析, 结合区域地质背景、砂岩厚度图及钻井岩心资料等, 可以清晰地看到辫状河三角洲前缘砂体的展布, 且纵向上朵叶体多期叠置, 期间, 在辫状河三角洲水下分支河道砂体间沉积了相对稳定的薄层滨浅湖泥岩。

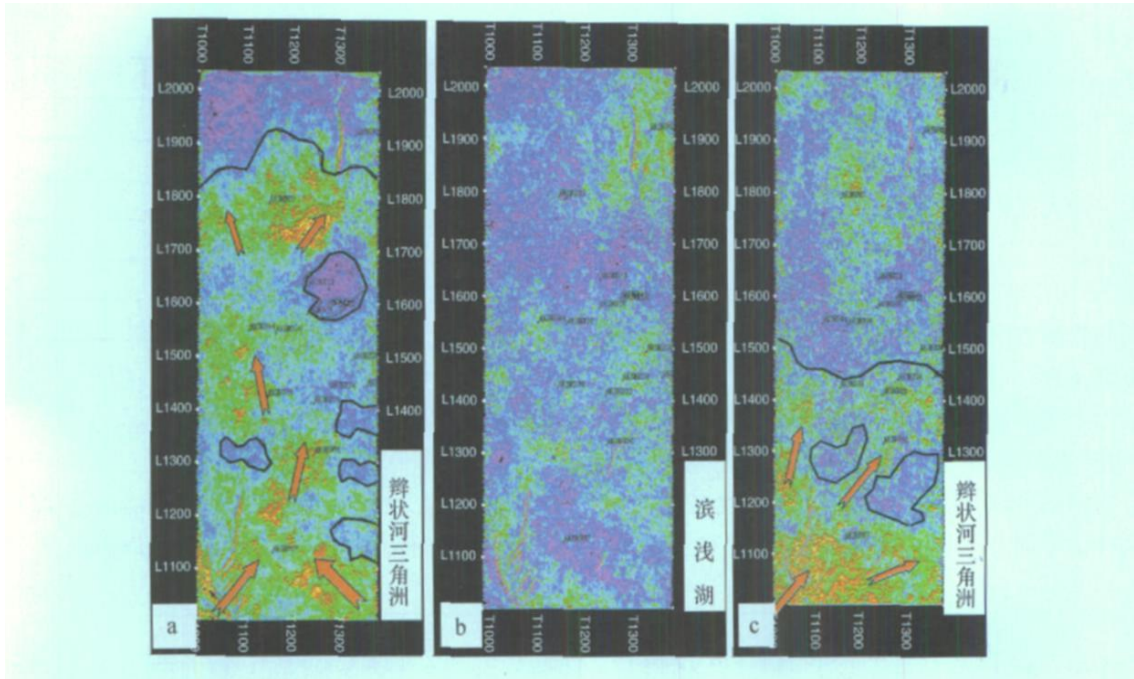


图 7 A 组三张典型地层切片

Fig 7 Three typical stratal slices in A formation

参考文献 (References)

- Zeng H L, Hentz T F. High-frequency sequence stratigraphy from seismic sedimentology Applied to Miocene Vermilion Block 50, Tiger Shoal area offshore Louisiana [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(2): 153-174
- Schlager Wolfgang. The future of applied sedimentary geology [J]. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70(1): 2-9
- Zeng H L, Ambrose W A. Seismic sedimentology and regional depositional systems in Miocene Norte, Lake Maracaibo, Venezuela [J]. The Leading Edge, 2001, 20(11): 1260-1269
- Zeng H L, Hentz T F, Wood L J. Stratal slicing of Miocene-Pliocene sediments in Vermilion Block 50, Tiger Shoal area Offshore Louisiana [J]. The Leading Edge, 2001, 20(4): 408-418
- Zeng H L, Loucks R G, Brown L F. Mapping sediment dispersal patterns and associated systems tracts in fourth- and fifth-order sequences using seismic sedimentology. Example from Corpus Christi Bay, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(7): 981-1003
- 董春梅, 张宪国, 林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术 [J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 699-704
- 林承焰, 张宪国. 地震沉积学探讨 [J]. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1140-1144
- 董春梅, 张宪国, 林承焰. 有关地震沉积学若干问题的探讨 [J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4): 405-409
- 林承焰, 张宪国, 董春梅. 地震沉积学及其初步应用 [J]. 石油学报, 2007, 28(2): 69-71
- 董艳蕾, 朱筱敏, 曾洪流, 等. 歧南凹陷地震沉积学研究 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 7-11
- 董艳蕾, 朱筱敏, 曾洪流, 等. 黄骅坳陷歧南凹陷古近系沙一层序地震沉积学研究 [J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 234-239
- 陆永潮, 杜学斌, 陈平, 等. 油气精细勘探的主要方法体系—地震沉积学研究 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(2): 1-5
- 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
- 李秀鹏, 曾洪流, 查明. 地震沉积学在识别三角洲沉积体系中的应用 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 625-628
- 张义娜, 朱筱敏, 刘长利. 地震沉积学及其在中亚南部地区的应用 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 74-79
- 赵爽, 李仲东, 许红梅. 分频解释技术及其在陆相砂岩地层地震勘探中的应用分析 [J]. 矿物岩石, 2006, 26(2): 106-110
- Greg Partyka, James G ridley, John Lopez. Interpretation application of spectral decomposition in reservoir characterization [J]. The Leading Edge, 1999, 18(3): 353-360
- 毕俊凤, 刘书会, 陈学国, 等. 分频解释技术在桩 106 地区馆上段河道砂体描述中的应用 [J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(5): 38-40
- 张军华, 周振晓, 谭明友, 等. 地震切片解释中的几个理论问题 [J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(3): 348-352

On Seismic Sedimentology of Lacustrine Deltaic Depositional Systems

ZHU Xiaomin¹ LIU Changli¹ ZHANG Yina² PENG Weimin²

(1. National Key Lab of Petroleum Resources & Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. Bohai Drilling Engineering Ltd., Langfang Hebei 065007)

Abstract Seismic sedimentology is the use of seismic data to study sedimentary rocks and the processes by which they are formed. It is a new traverse subject which is superior in mapping high-frequency sequences and depositional systems and has got the obvious results in oil-gas exploration and development. We use the technology of the frequency spectrum decomposition and stratal slicing, the key wells constraints to facies types, as well as the use of geomorphic features of different sand shapes to start seismic sedimentological studies in a certain basin of Central Asia. By analysing a series of typical stratal slices, we could find that the target zone is mainly subaqueous distributary channel of braided delta, the delta lobes override in vertical profile, thin layer lacustrine mudstone deposit between underwater distributary of braided delta.

Key words seismic sedimentology, frequency spectrum decomposition, stratal slicing, sedimentary microfacies distribution