

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.03099

西湖凹陷平北地区平湖组基于地震多属性的储层预测

黄胜兵^{1,2}, 叶加仁^{1,2}, 朱红涛^{1,2}, 陆俊泽^{1,2}, 顾惠荣³, 王继立³

(1 中国地质大学 构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074; 2 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074;
3 中海石油(中国)有限公司 东海西湖石油天然气作业公司, 上海 200030)

摘要: 始新统平湖组是东海西湖凹陷平北地区最重要的油气储层, 但受资料条件的限制, 应用常规方法无法进行精细的储层预测, 制约了研究区的油气勘探部署和进程。应用地震多属性分析技术, 结合测井曲线、岩心、岩性及区域地质资料, 对平北地区平湖组的岩相进行了精细解释, 并对有利目标区进行了初步预测, 结果表明, 平北地区平湖组发育潮汐控制的三角洲相和潮坪相两种类型的沉积相, 并以三角洲相内的储层发育, 砂体连片性好, 工区西南部三角洲前缘相发育区为油气勘探的有利目标区。

关键词: 层序地层; 地震多属性; 储层预测; 平北地区; 西湖凹陷

中图分类号: P539.1 文献标识码: A 文章编号: 0256-1492(2009)03-0099-07

地震属性是指那些由叠前或叠后的地震数据, 经过数学变换而导出的有关地震波几何学、运动学、动力学和统计学特性信息的综合特征参数^[1-2]。通过属性解释能够获得许多有关地层、断层、裂缝、岩性和岩相变化的重要特征信息, 可广泛应用于地震构造解释、地层分析、油藏特征描述以及油藏动态检测等领域。它是地震资料中可描述的、可量化的特征, 是刻画、描述地层结构、岩性以及物性等信息的地震特征量^[3]。

相同或近似的储层参数在地震属性上表现为相同或相近的特征。储层的岩性、物性及其流体性质的变化, 在地震资料包涵的各种属性中都会有相应的响应, 这也是通过地震属性寻找油气的理论依据。但是在一般情况下, 没有任何单独的地震属性能唯一地指示储层的某一特性^[4], 地震属性与储层参数的变化也不是一一对应的关系^[5], 地震属性的变化除了由岩性、物性及含油气性的变化引起外, 还可以由其他的地质因素引起, 如砂泥岩含量或厚度的相对变化, 对地震波振幅相位属性有很大影响^[6], 同时, 有些储层参数异常在某些属性上得不到反映。因此, 利用地震单属性预测储层参数常具有不确定性、多解性^[3,7], 不能满足精细勘探的要求, 而多属性综合分析方法具有单属性分析所无法比拟的优点, 可大大提高预测精度。地震多属性综合分析方法是在地震属性敏感性分析的基础上, 选取优化后

的地震属性组合, 运用神经网络等技术对多个单属性进行拟合, 实现多种单属性信息融合, 利用拟合后的多属性地震相图结合钻井对储层的发育状况展开综合预测。

本次研究工区地处西湖凹陷西部斜坡带中北段, 面积 80 km², 区内共有 3 口钻井, 单井控制面积较大, 造成井间储层预测具有一定的困难, 同时前人对研究区开展的储层评价均为定性、区域性的模式化解释, 没有开展精细的储层预测, 如陈建文^①认为该地区处于受潮汐控制的三角洲沉积体系, 赵丽娜等认为西部斜坡带平湖构造带始新统平湖组主要处于潮坪相及潮汐三角洲相^[8], 孙思敏等认为该地区花港组为河流相沉积体系^[9]。基于研究区储层预测存在的精度问题, 本文采用地震多属性综合分析技术, 来精细分析研究区内沉积相展布及储层参数特征, 以期降低单属性分析造成的不确定性、多解性。

1 地质概况

平北地区位于东海西湖凹陷西部斜坡带平湖构造带北部(图 1), 其西邻海礁隆起物源区, 东靠三潭生烃深凹。区内发育多条北东向展布的断裂系, 主控断层为宁波①断层和平湖①断层。

本次研究工区主要为平北地区的宝云亭区块(图 1), 区块内共有 3 口钻井: Byt1 井、Byt2 井和 Byt3 井, 并具有较高品质的三维地震资料, 这为利

基金项目: 国家自然科学基金项目(40702024)

作者简介: 黄胜兵(1982—), 男, 硕士生, 主要从事层序地层学、

地震资料解释, E-mail: hsbxzd@163.com

收稿日期: 2009-02-20; 改回日期: 2009-04-30. 周立君编辑

① 陈建文, 东海西湖凹陷层序地层学和沉积体系研究, 2007, 74-81.

用地震多属性分析技术进行精细储层预测奠定了坚实基础。油气勘探目的层位为古近系始新统平湖组^[10-13]。根据地震、测井、岩心等资料,平湖组整体处于海退背景下,发生了3次规模较大、相对短暂的海侵,从而形成了3个三级层序(SQ1—SQ3)(图2)。3个层序具有如下特征:(1)SQ1层序:岩性主要为灰—深灰色泥岩夹薄层细砂岩、粉砂岩,整体以砂泥互层为主,向上变细;自然伽玛曲线特征多为钟形、指状或齿状、小箱状;钻井揭示表明,该层序上升半旋回略比下降半旋回发育;(2)SQ2层序:岩性为灰质粉砂岩、泥质粉砂岩与灰质粗砂岩、泥岩互层,

灰—深灰色泥岩夹薄层细砂岩、粉砂质泥岩,岩性向上变细,砂泥比较SQ1层序低;自然伽玛曲线特征为指状或齿状,自然电位多为平直状,该层序上升半旋回和下降半旋回具有很好的对称性;(3)SQ3层序:岩性为灰—深灰色泥岩与粉砂岩、细砂岩不等厚互层,夹沥青质煤和灰质,砂泥比较高,并向上呈粗—细—粗的变化特征;自然伽玛曲线特征为小箱状、钟形、指状或齿状、漏斗状;该层序下降半旋回较上升半旋回略为发育。总体而言,自下而上SQ1、SQ2、SQ3三个层序的砂岩含量具有中—低—高的变化趋势。

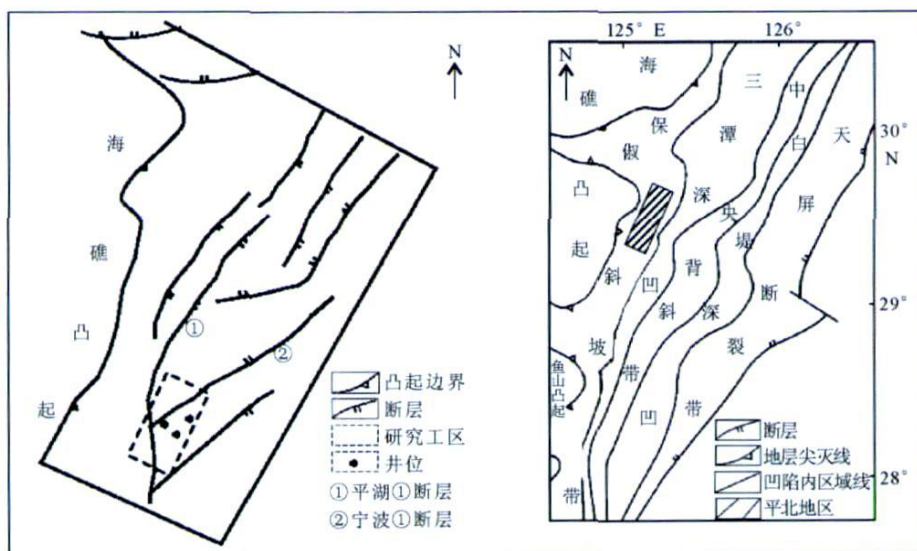


图1 研究工区构造位置
Fig. 1 Tectonic location of the studied area

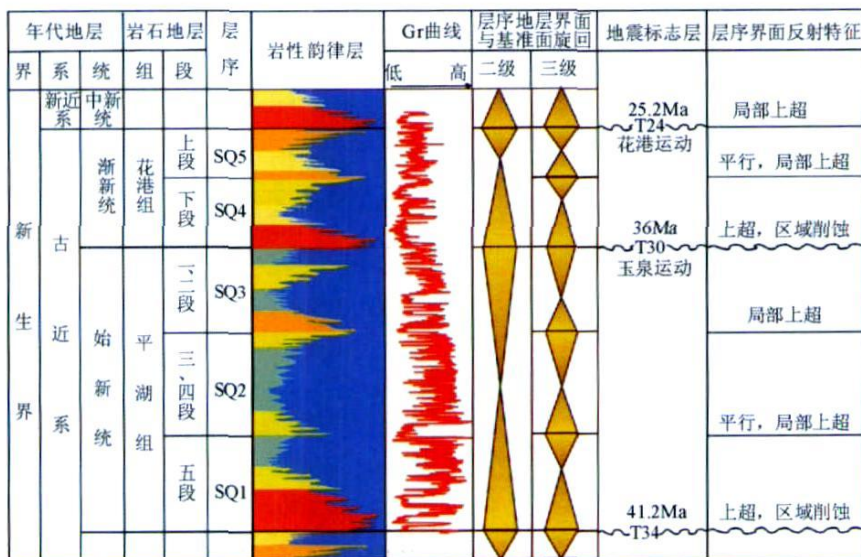


图2 西湖凹陷平北地区地层综合柱状图
Fig. 2 Generalized stratigraphic column of the Pingbei area in the Xihu depression

2 地震多属性分析

2.1 分析流程

地震多属性分析流程主要包括: 层位标定及解释、属性提取、属性优化组合、多属性聚类分析和储层预测(图 3)。

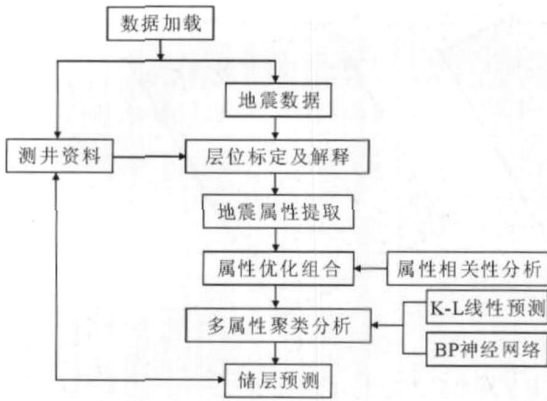


图 3 地震多属性分析流程图

Fig. 3 Flow of seismic multi-attributes analysis

2.2 地震单属性提取及相关性

在三维工区层序地层解释的基础上, 首先开展平湖组 SQ1、SQ2、SQ3 三个层序地震单属性试验。本次研究共选取了 10 种能够指示岩性变化的地震单属性, 分别为均方根振幅(RMS)、平均持续时间(AD)、弧长(Arc)、平均正振幅(APA)、带宽(BW)、平均峰值振幅(APV)、瞬时相位(IP)、瞬时频率(IF)、主频(DF)。然后, 对提取的 10 种单属性采取地震属性交汇图分析各个属性之间的关联性(图 4)。

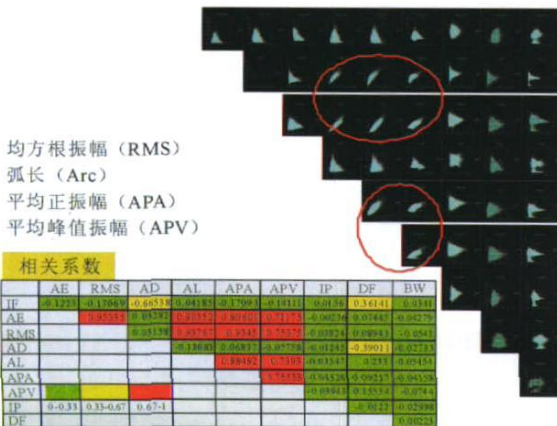


图 4 单属性交汇图及相关系数

Fig. 4 The crossplot between single seismic attributions and their correlation coefficients

根据地震单属性相关分析成果, 选取相关性较好的均方根振幅、弧长、平均正振幅及平均峰值振幅作为属性优化后的组合, 这 4 种地震单属性之间相关系数均高于 0.7。

2.3 地震多属性分析及岩相解释

在优选出上述四种地震单属性的基础上, 采取 BP 神经网络聚类法^[14-16], 对平湖组的 3 个层序开展多属性综合分析。并结合岩心、测井曲线、砂岩泥比, 进行地震相-沉积相的转换。

(1) SQ1 层序

由地震多属性分析平面图(图 5a)可知, 研究区平湖组 SQ1 层序的多属性特征可以区分为三种类型, 分别以淡绿色、红色和蓝色表示。其中, 淡绿色较少, 平面上呈条带状展布; 结合该区所处的构造位置、物源及区域地质条件等, 可以推测该区位于物源进入凹陷的通道, 为砂岩发育区。红色的分布范围比淡绿色的大, 并进一步向凹陷中心迁移, 且具有很好的连片性, 为砂岩相对发育区, 但粒度应比淡绿色区域细。蓝色区域靠近盆地中心, 为泥岩发育区。此外, 在蓝色背景中还存在一些孤立的红色区域, 可能为“泥包砂”沉积, 系潮坪沉积体系发育区。总体上, SQ1 层序蓝色的分布范围相对较小, 系由于该层序处于二级层序的低位体系域时期, 砂岩相对发育。区内共有 2 口井(Byt2 和 Byt3) 钻遇了该套层序, 其中 Byt3 井处于蓝色背景下孤立发育的红色区域中, 含砂率较低, 为 11.98%; Byt2 井处于连片红色区域与蓝色区域交接处, 含砂率高于 Byt3 井, 为 19.77%。岩心观测揭示, Byt2 井在该层序第 9 回次 15 次取心中发现远端坝砂岩中的波状层理及水平纹层带, 底部具弱冲刷面(图 6), 同时在该回次的 12—14 次取心中发现双黏土层及透镜状层理, 由此可以认为该井所在区域为受潮汐控制的三角洲前缘相沉积(图 5d); Byt3 井在该层序第 6 回次 13 次取心中发现浅灰色细砂岩中含炭质泥岩, 在该回次 25 次取心中发现不规则的泥砾, 由此推断该处存在孤立红色小块的蓝色区域为潮坪相沉积。因此, 基于地震多属性分析, 结合测井曲线、岩心、岩性、物源及区域地质资料, 研究认为 SQ1 层序地震相平面图中的淡绿色区域为受潮汐控制三角洲平原相沉积, 连片的红色区域为受潮汐控制三角洲前缘相沉积, 蓝色发育区为潮坪相沉积(图 5d)。此外, Byt1、Byt2 井区与 Byt3 井区的沉积环境不同, 前者为受潮汐控制三角洲相, 后者为潮坪相。

(2) SQ2 层序

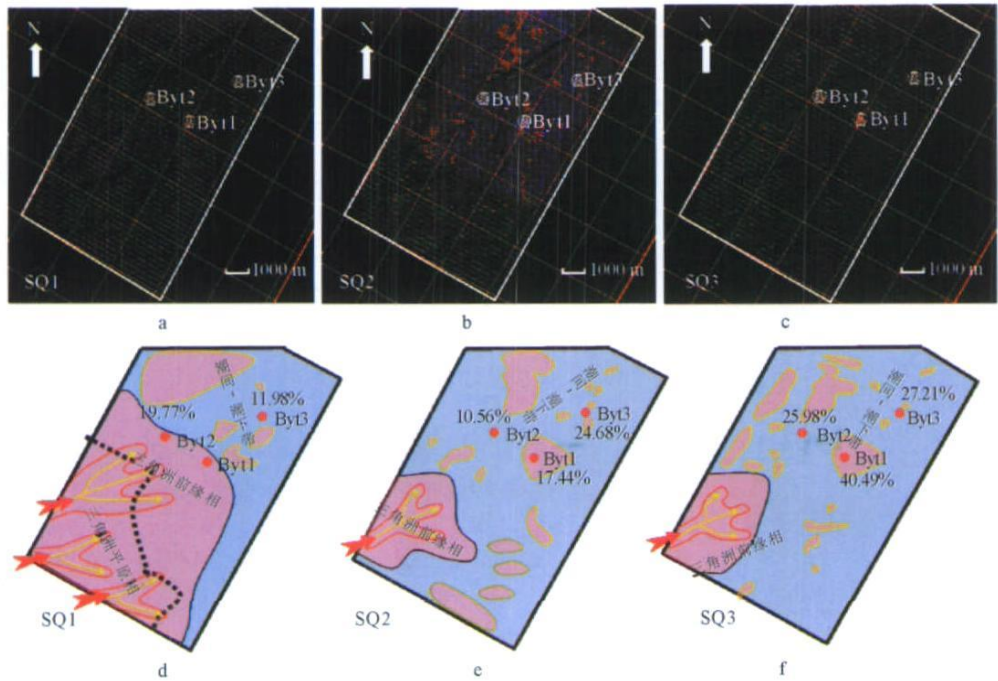


图5 西湖凹陷平北地区平湖组各层序地震多属性图及对应的沉积相图

a: SQ1 层序地震多属性平面图; b: SQ2 层序地震多属性平面图; c: SQ3 层序地震多属性平面图;
d: SQ1 层序沉积相图; e: SQ2 层序沉积相图; f: SQ3 层序沉积相图

Fig.5 Spatial distributions of seismic multi-attributes and corresponding sedimentary facies in different sequences of the Pinghu Formation in the Pingbei area

a: Seismic multi-attributes of sequence SQ1, b: Seismic multi-attributes of sequence SQ2, c: Seismic multi-attributes of sequence SQ3
d: Sedimentary facies of sequence SQ1, e: Sedimentary facies of sequence SQ2, f: Sedimentary facies of sequence SQ3

SQ2 层序地震多属性分析平面图(图 5b)中只存在蓝色和红色两种颜色发育区域,且红色区域向物源方向进一步退缩,蓝色区域范围则相对扩大,这是由于 SQ2 层序处于平湖组二级层序的水侵体系域时期,形成于基准面持续上升阶段,造成沉积物向盆地物源方向退积。该层序沉积环境基本继承了 SQ1 层序的特征,但红色区域整体范围较 SQ1 层序变小,并在研究区西南部具一定的连片性,为三角洲前缘沉积环境,其他部位则零星分布于蓝色区域之中,为潮坪相沉积环境。该地层在区内 3 口井均钻遇,并且都处在有零星分布红色小块的蓝色区域之中,Byt1、Byt2、Byt3 井的含砂率分别为 17.44%、10.56%、24.68%,同时在 Byt2 井第 6 回次 12 次取心中发现强生物扰动(图 6),在 Byt3 井第 5 回次 25 次取心中发现定向排列的双黏土层及泥砾,第 3 回次 52 次取心中发现透镜状层理及生物潜穴,Byt1 井第 8 回次中发现双黏土层。因此,可以认为以蓝色为背景红色零星分布的区域为潮坪相(图 5e),Byt1、Byt2 和 Byt3 井区均处于该沉积环境;红色区域为受潮汐控制的三角洲前缘相沉积。

(3)SQ3 层序

与 SQ2 层序相比较, SQ3 层序地震多属性分析平面图中(图 5c)的红色区域面积扩大,连片性变好,并出现淡绿色区域,这是由于该层序处于平湖组二级层序的高位体系域时期,基准面持续下降,造成沉积物向盆地中心进积。类似于 SQ1 层序, SQ3 层序淡绿色发育区域为物源搬运通道,为砂岩发育区;西南部连片性较好的红色区域为砂岩中等发育区,根据其展布情况,可以推断为三角洲沉积环境。蓝色区域靠近盆地方向,且零星分布红色小块,为潮坪相沉积环境。Byt1、Byt2 和 Byt3 井均钻遇该层序,并处在零星分布红色小块的蓝色区域之中,3 口井的含砂率分别为 40.49%、25.98%、27.21%;同时,在岩心观测中,Byt2 井第 5 回次 3 443.43 m 处发现潮汐层理(图 6),Byt3 井第 1 回次 19 次取心中发现透镜状层理,Byt1 井第 5 回次 13 次取心中发现植物化石。因此, SQ3 层序总体上继承了 SQ2 层序的沉积特点,以蓝色为背景红色零星分布的区域为潮坪相(图 5f),Byt1、Byt2、Byt3 井区均处于该沉积环境;红色区域为受潮汐控制的三角洲前缘相沉积,但其分布范围较 SQ2 层序增大。

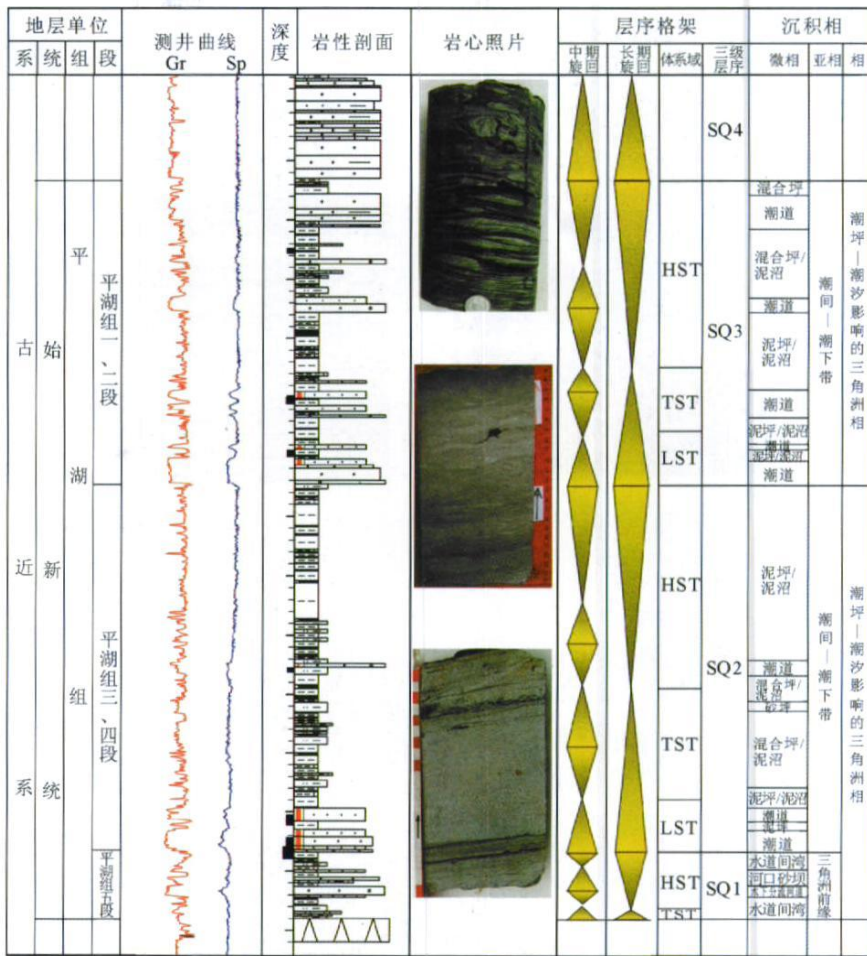


图 6 西湖凹陷平北地区 Byt2 井平湖组单井沉积相图

Fig. 6 Sedimentary facies of the Pinghu Formation at Well Byt2 in Pingbei area

3 有利目标区预测

研究区有利的储集相带主要为受潮汐控制的三角洲前缘相和潮坪相所形成的砂岩发育区。潮坪沉积相发育于具有生油气能力的海湾泥岩之上, 储层特征为成熟度相对较高、物性相对较好, 互层发育的砂、泥坪, 形成较好的生、储、盖匹配组合^[8]。但相比而言, 受潮汐控制的三角洲前缘是三角洲砂体最为集中的发育区, 其砂体规模、连续性均优于潮坪相砂体, 并且, 三角洲前缘砂体经过潮汐双向水流的反复冲刷、筛选, 储层砂质纯, 分选好, 具有良好的储集性能^[17-18]。因此, 受潮汐控制的三角洲前缘砂体发育区是油气勘探的有利目标区。

基于地震多属性分析可知, 地震多属性图中的红色连片区为处于三角洲前缘相沉积环境的砂体集中发育区(图 5), 由此可根据平湖组 3 个层序(SQ1、SQ2、SQ3)红色异常分布的状况和沉积相特征, 根

据储层(砂体)发育状况对研究区潜在的有利目标区进行预测。本次研究预测的有利目标区位于平北地区的西南部(图 7)。平面上, 该区域近 NNE 向展布, 区内发育呈扁平的条带状分布的地震多属性异常, 两侧被断层所控制; 剖面上, 从盆地边缘到中心, 整体表现为楔状反射特征, 在不同方向的地震剖面上均可以见到一系列的同相轴前积反射特征, 并以 NNE 向地震剖面上表现得最为清楚, 为典型的三角洲前积反射体(图 7)。

4 结论

(1)地震多属性分析比单属性分析能更为全面、综合地反映地质体的特征, 可有效地降低单属性分析的不确定性, 使预测结果更可靠, 是沉积相划分及储层预测的有效手段。

(2)西湖凹陷平北地区平湖组沉积环境主要为受潮汐控制的三角洲相、潮坪相。在 SQ1 层序发育

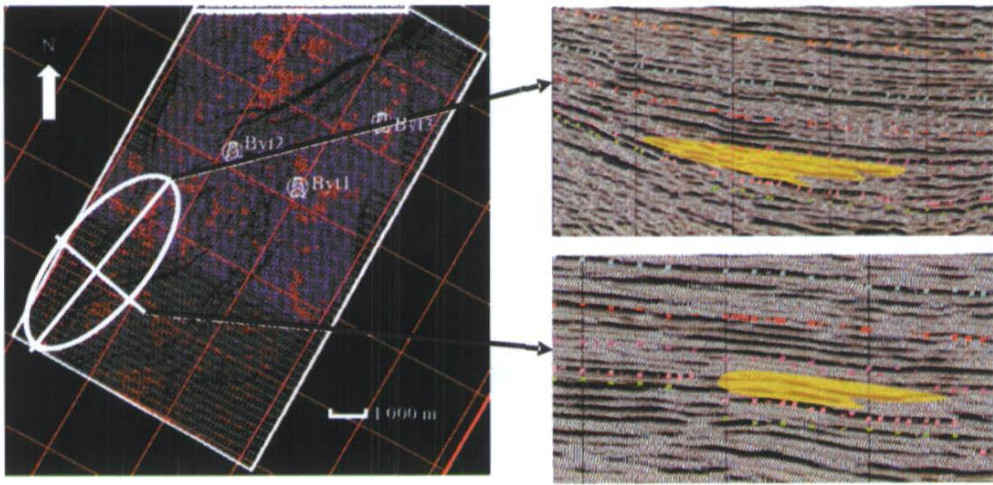


图 7 西湖凹陷平北地区有利目标区预测及典型沉积反射体

Fig. 7 Potential favourable area and typical sedimentary reflectors for hydrocarbon exploration in the Pingbei area

时期, Byt1 和 Byt2 井区为受潮汐控制的三角洲相, Byt3 井区为潮坪相; 在 SQ2 和 SQ3 层序发育时期, Byt1、Byt2 和 Byt3 井区均为潮坪相。

(3) 平北地区西南部三角洲前缘相发育的区域为油气勘探的有利目标区, 区内发育典型的三角洲前积反射体。

参考文献 (References)

- [1] 印兴耀, 韩文功, 李振春, 等. 地震技术新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 58-60. [YIN Xingyao, HAN Wengong, LI Zhenchun, et al. The New Progress in Seismic Technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 58-60.]
- [2] 张永刚. 油气地球物理技术新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 224. [ZHANG Yonggang. The New Progress in Hydrocarbon Geophysics Technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 224.]
- [3] 魏艳, 尹成, 丁峰, 等. 地震多属性综合分析的应用研究[J]. 石油物探, 2007, 46(1): 42-47. [WEI Yan, YIN Cheng, DING Feng, et al. Synthetic analysis of seismic multi-attribute and its application[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46(1): 42-47.]
- [4] 陈遵德. 储层地震属性优化方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 11-13. [CHEN Zunde. The Optimization Method of Reservoir Seismic Attribute [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 11-13.]
- [5] 沈荣, 张宏健, 夏连军, 等. 基于地震属性分析的储层预测方法研究[J]. 小型油气藏, 2008, 13(2): 22-25. [SHEN Rong, ZHANG Hongjian, XIA Lianjun, et al. Reservoir forecast method based on seismic attribute analyses[J]. Small Hydrocarbon Reservoirs, 2008, 13(2): 22-25.]
- [6] 赵政璋, 赵贤正, 王英明, 等. 储层地震预测理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005. [ZHAO Zhengzhang, ZHAO Xianzheng, WANG Yingming, et al. Theory and Practice of Seismic Reservoir Prediction [M]. Beijing: Science Press, 2005.]
- [7] 张建宁, 于建国. 地震属性应用中的不确定性分析[J]. 石油物探, 2006, 45(4): 373-379. [ZHANG Jianning, YU Jianguo. Uncertainty analysis in the application of seismic attribution [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(4): 373-379.]
- [8] 赵丽娜, 陈建文, 张银国, 等. 东海西湖凹陷平湖构造带平湖组沉积特征[J]. 世界地质, 2008, 27(1): 42-47. [ZHAO Lina, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, et al. Sedimentary characteristics of Pinghu Formation in Pinghu structural belt of Xihu depression, East China Sea [J]. Global Geology, 2008, 27(1): 42-47.]
- [9] 孙思敏, 彭仕宓. 东海西湖凹陷平湖油气田花港组沉积相及沉积演化[C] // 第九届全国古地理学及沉积学学术会议论文集, 2006: 36. [SUN Simin, PENG Shimi. Sedimentary facies and sedimentary evolution of Huagang formation in Pinghu field Xihu sag, the East China Sea [C] // Ninth National Palaeogeography and Sedimentology Conference Proceedings, 2006: 36.]
- [10] 叶加仁, 顾惠荣, 贾健谊. 东海陆架盆地西湖凹陷油气成藏动力学[J]. 天然气工业, 2005, 25(12): 5-8. [YE Jiaren, GU Huirong, JIA Jianyi. Research on the hydrocarbon accumulation dynamics of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(12): 5-8.]
- [11] 顾惠荣, 叶加仁, 郝芳. 东海西湖凹陷平湖构造带油气分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 104-108. [GU Huirong, YE Jiaren, HAO Fang. Distribution pattern of oil and gas in Pinghu structural zone in Xihu depression, East China Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 104-108.]
- [12] 顾惠荣, 贾健谊, 叶加仁. 东海西湖凹陷含油气系统特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 295-297. [GU Huirong, JIA Jianyi, YE Jiaren. Characteristics of oil and gas bearing system in Xihu sag in the East China Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 295-297.]
- [13] 胡芬, 叶加仁, 刘俊海. 东海西湖凹陷平湖构造带油气运聚特

- 征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(1): 95-102. [HU Fen, YIE Jiaren, LIU Junhai. Petroleum migration and accumulation characteristics of Xihu sag the East China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(1): 95-102.]
- [14] 田景文, 高美娟. 人工神经网络算法研究及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 35-38. [TIAN Jingwen, GAO Meijuan. The Research and Application of Artificial Neural Network[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2006: 35-38.]
- [15] 徐刚, 张建宁, 谭明友. BP 神经网络在济阳拗陷圈闭地质评价中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(5): 565-569. [XU Gang, ZHANG Jianning, TAN Mingyou. Application of BP artificial neural network to geologic appreciation of traps in Jiyang depression[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(5): 565-569.]
- [16] 贺铎华. BP 神经网络识别塔北低阻油气层[J]. 物探与化探, 2002, 26(2): 122-125. [HE Duohua. The application of BP neural network to recognition of the Tabei low resistivity oil and gas layers[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 26(2): 122-125.]
- [17] 王良忱, 张金亮. 沉积环境和沉积相[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. [WANG Liangchen, ZHANG Jinliang. Sedimentary Environment and Sedimentary Facies[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.]
- [18] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. [JIANG Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.]

PREDICTION OF RESERVOIRS IN PINGHU FORMATION OF PINGBEI AREA BASED ON SEISMIC MULTI-ATTRIBUTE ANALYSIS

HUANG Shengbing^{1,2}, YE Jiaren^{1,2}, ZHU Hongtao^{1,2}, LU Junze^{1,2}, GU Huirong³, WANG Jili³

(1 Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, MOE, Wuhan 430074, China;

2 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3 The East China Sea Xihu Oil & Gas Operating Company, CNOOC, Shanghai 200030, China)

Abstract: Pinghu Formation reservoirs, the most important ones in Pingbei area of the Xihu depression, can not be predicted precisely by using conventional methods due to absence of corresponding data, which has restricted hydrocarbon exploration and development in the study area. The authors applied seismic multi-attributes technique and combined with data of well logs, core, lithology and regional geology to interpret the lithofacies of Pinghu Formation in the Pingbei area, and also favorable area for hydrocarbon exploration has been predicted in this paper. The results show that two sedimentary facies (tidal flat and delta) influenced by tide are developed in the Pinghu Formation, and reservoir in the delta is better because of its flaky sandbody distribution. The southwestern part of the study area with delta-front facies is the favorable target for hydrocarbon exploration.

Key words: sequence stratigraphy; seismic multi-attributes analysis; reservoir prediction; Pingbei area; Xihu depression