

## 东海盆地西湖凹陷渐新统花港组 地震相特征及沉积相分布

王文娟<sup>1,2</sup>, 张银国<sup>1,2</sup>, 张建培<sup>3</sup>

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室)  
(2 青岛海洋地质研究所; 3 中海石油(中国)有限公司上海分公司)

**摘要** 选择可信度较高的地震反射构造和外部形态,结合地震反射振幅、连续性等反射结构参数,对东海盆地西湖凹陷渐新统花港组的地震相进行了划分命名。在研究区4个四级地震层序中共识别出前积地震相、下凹状地震相、丘状地震相及平行—亚平行地震相(包括D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>四类亚相)等多种类型。这些地震相在平面分布上具有差异性,而在垂向演化上具有继承性。应用钻井/测井相等其他地质资料对地震相进行验证和约束解释,确定了区内目的层段以陆相沉积环境为主,主要发育辫状河流相、湖泊三角洲相、滨浅湖相及浅湖相,东部地形陡,发育扇三角洲。

**关键词** 东海盆地; 西湖凹陷; 花港组; 地震相; 地震特征; 沉积相

中图分类号: TE121.3<sup>1</sup>

文献标识码: A

地震相是地下地质体的一个综合反映,可以认为“地震相是沉积地质体在地震剖面上响应的总和”。沉积环境传统上通过岩心或露头确定,然而在广大的无岩心或无露头的地区,利用地震剖面上的反射特征来识别沉积相、预测有利相带,这在国内外已经取得了良好的效果<sup>[1]</sup>。东海盆地西湖凹陷的钻井非常少,通过单井来进行沉积相的平面分析往往依据不够充分,因此在该盆地开展地震相分析非常具有意义。西湖凹陷的主要勘探目的层为渐新统花港组,前人对花港组沉积相的研究有以下几种观点:武法东等<sup>[2]</sup>认为花港组是受过短暂海水侵入的河流、湖泊、三角洲沉积;王果寿等<sup>[3]</sup>认为花港组主要为河流、三角洲和湖泊沉积;孙思敏等<sup>[4]</sup>认为花港组为一套辫状河和曲流河相互交替的沉积体系;胡明毅等<sup>[5]</sup>则认为花港组在西部地形平缓区,发育正常河流和三角洲相沉积,在东部地形较陡处,发育扇三角洲和湖泊相沉积。

### 1 区域地质背景

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷带东北

部,为北北东走向;西邻虎皮礁凸起、长江凹陷、海礁凸起、钱塘凹陷以及渔山低凸起(自北而南),东以钓鱼岛隆褶带为界,南、北两端分别通过一个构造鞍部过渡到基隆凹陷和福江凹陷(图1),总体上构成东断西超的箕状凹陷。凹陷内由西向东划分为保俶斜坡带、三潭深凹带、浙东中央背斜带、白堤深凹带、天屏断裂带等五个次级构造单元。平湖、春晓、宝云亭、玉泉、武云亭等油气田和含油气构造主要分布在保俶斜坡带和浙东中央背斜带上<sup>[6-8]</sup>。

西湖凹陷经历了早期断陷(古新世—始新世)、中期坳陷(渐新世—中新世)、晚期整体沉降(上新世—第四纪)三个阶段<sup>[9]</sup>。花港组是在渐新世早期玉泉运动的基础上形成的,随着玉泉运动的发生,经历平湖组断陷晚期反转抬升,西湖凹陷进入裂后坳陷的演化阶段。花港组自下而上为一套水进沉积,但在大的沉降背景下发生过两次幕式抬升,形成两个三级层序: S<sub>III</sub><sub>1</sub>(花二段)和S<sub>III</sub><sub>2</sub>(花一段),区域上以基准面升降沉积为主。

收稿日期: 2012-08-27; 改回日期: 2013-05-15

基金项目: 本文受国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金项目(编号: MRE201219)资助

王文娟: 女, 1980年生, 工程师。2007年毕业于兰州大学, 主要从事石油地质研究。通讯地址: 266071 山东省青岛市福州南路62号; 电话: (0532)85755835

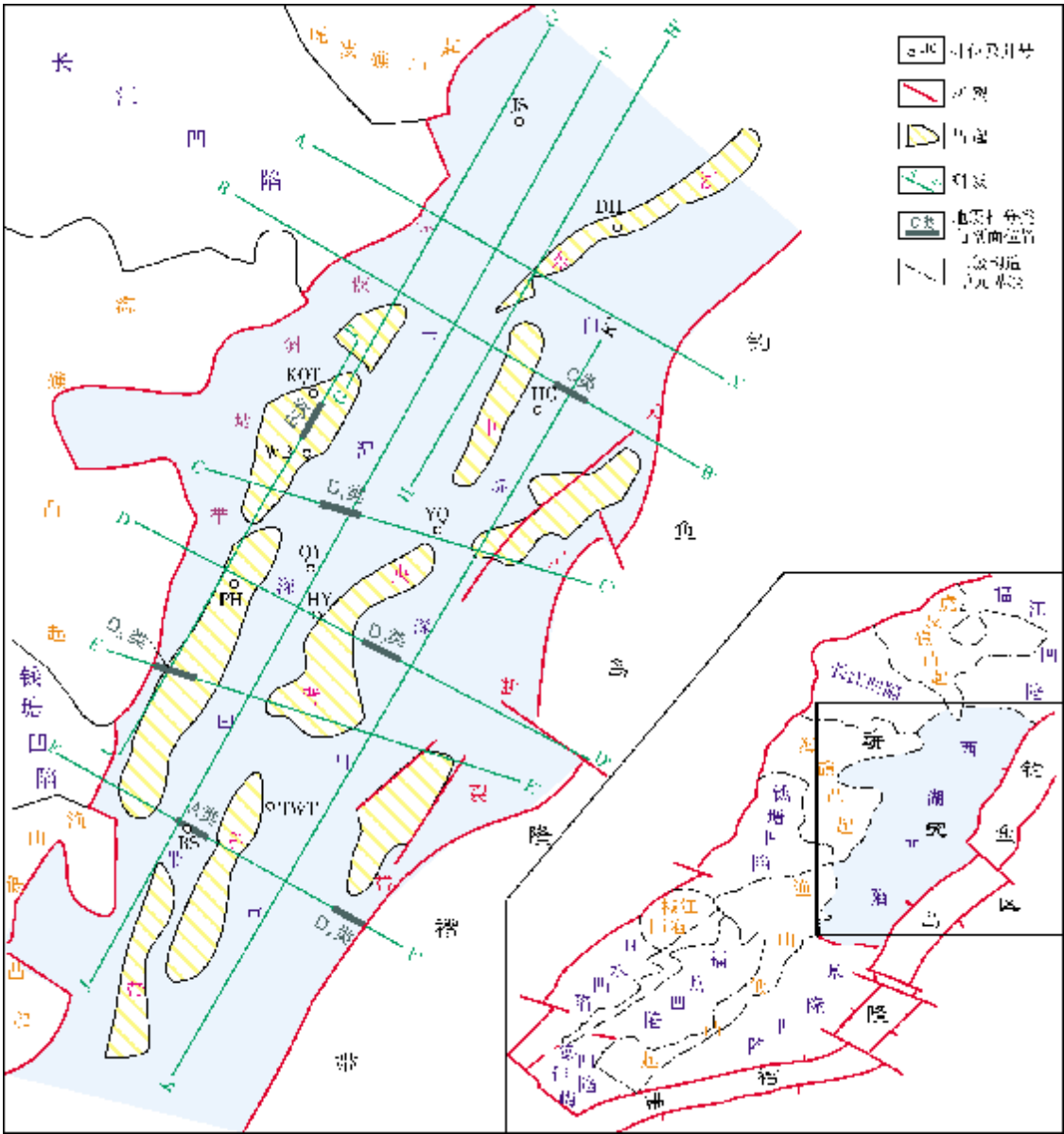


图 1 东海盆地西湖凹陷构造区划简图

2 地震层序和地震相类型

2.1 地震层序的划分及特征

层序是层序地层格架的基本单元,它是一套内部相对整合、在成因上有联系、以不整合和可以与之对比的整合面为界的等时沉积体<sup>[10-17]</sup>。花港组在整个西湖凹陷都有钻遇,依据区域地质资料分析,通过识别岩心、测井曲线及地震剖面所反映的层序界面

特征及层序内部湖(海)泛面特征,划分出两个三级层序  $S_{III_1}$ 、 $S_{III_2}$ , 识别出三级层序界面  $SB_1$ 、 $SB_2$ 、 $SB_3$  及最大湖泛面  $f_1$ 、 $f_2$ , 并以最大湖泛面为界划分出上升旋回和下降半旋回,相当于 4 个四级层序  $SIV_1$ ( $S_{III_1}$ 上升半旋回)、 $SIV_2$ ( $S_{III_1}$ 下降半旋回)、 $SIV_3$ ( $S_{III_2}$ 上升半旋回)、 $SIV_4$ ( $S_{III_2}$ 下降半旋回)(图2)。

2.2 地震相类型及特征

西湖凹陷二维地震偏移剖面形成了控制全研究

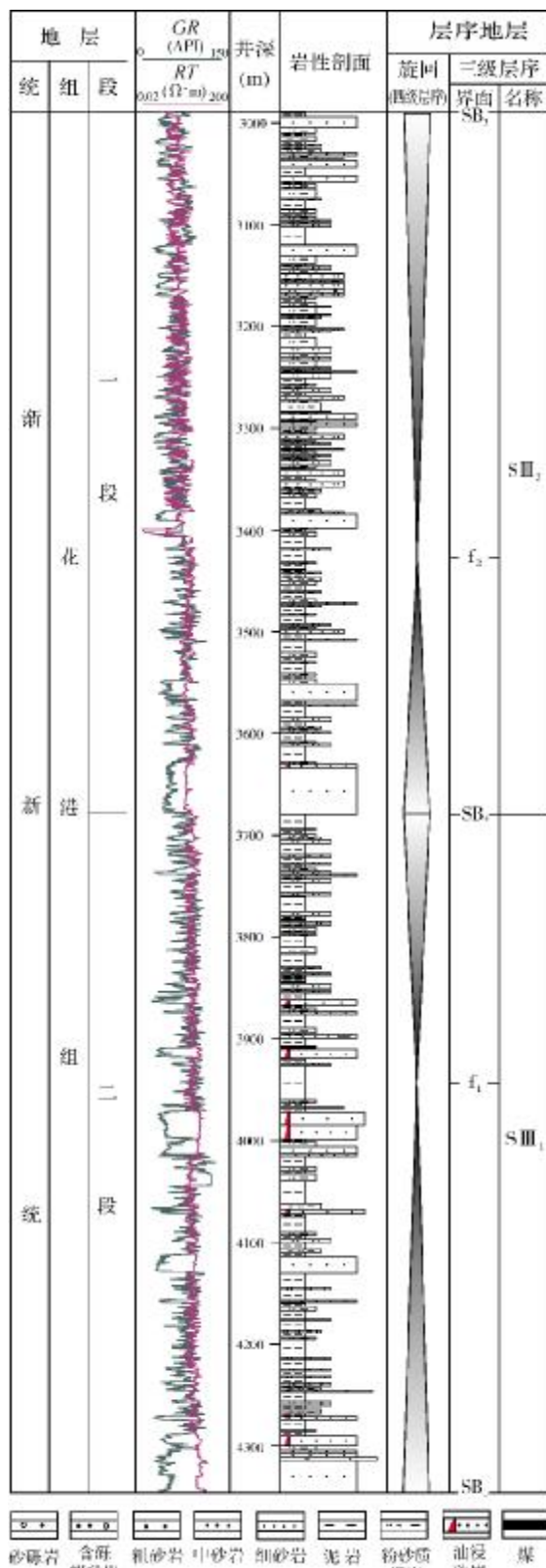


图2 西湖凹陷 QY 井层序地层划分

区(2×2)~(4×8) km 不等的地震网格。在地震相分析过程中,以反射品质较好的过井剖面为骨干剖面,结合单井相和前人研究成果,由点(井点)到线,由线到面进行对比追踪和闭合。选择可信度较高的地震反射内部结构和外部形态,结合地震反射构造等参数,来对地震相进行划分命名。首先依据反射构造和反射外形分成前积(A类)、透镜状(B类)、丘状构造(C类)及平行—亚平行(D类)等4大类地震相,接着再根据振幅强弱、频率高低及连续性等反射结构对D类划分出4种亚类地震相<sup>[18-23]</sup>(地震相平面位置标注于图1)。

### 2.2.1 前积地震相(A类)

前积地震相由一组向同一方向倾斜的同相轴构成,它与上覆或下伏的同相轴成角度或切线相交。研究区可见到叠瓦型前积地震相,它是由一组倾角十分平缓的同相轴构成的,反射结构表现出强振幅—中振幅—中弱振幅,低频—中频,较连续—连续等特征(图3)。前积地震相反映某种携带沉积物的水流在向前推进过程中,由前积作用形成的构造,因而它是直接指示古水流方向和物源方向的重要标志。由钻(测)井资料约束解释认为该区此类地震相是三角洲前积相的地震响应。

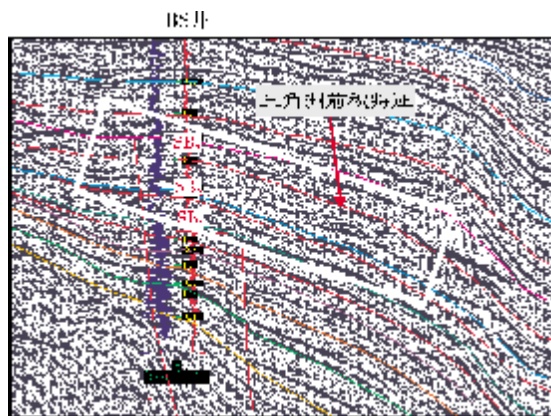


图3 西湖凹陷前积地震相  
剖面位置见图1中的F—F', A类地震相

### 2.2.2 透镜状(下凹状)地震相(B类)

下凹状地震相以“顶平底凹”外形为特征,局部突然向下增厚,向下侵蚀充填于下伏地层之中(图4)。地震反射结构表现为中振幅—弱振幅,中频—低频以及断续反射相,该类反射仅见于KQT井和WB井之间



(图1, I—I'剖面),综合分析认为,它是辫状三角洲前缘的水下分流河道充填在纵向剖面上的地震响应。

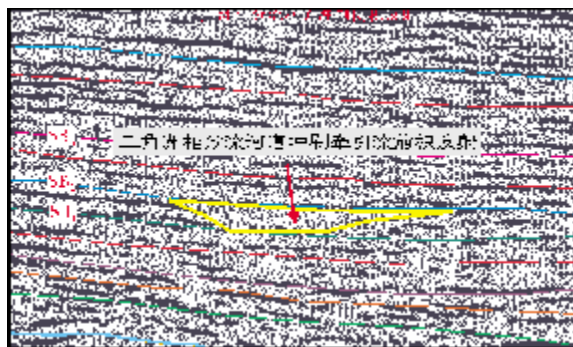


图4 西湖凹陷透镜状(下凹状)地震相  
剖面位置见图1中的I—I', B类地震相

### 2.2.3 丘状构造地震相(C类)

丘状构造地震相“底平顶凸”,底部同相轴连续平缓,顶部上凸(图5),图中左侧的反射构造内部可见下超反射。这类反射结构为中强振幅—中弱振幅,中频,断续—较连续的反射。在钻(测)井等资料约束下解释认为该类型的地震相反射是滨浅湖砂坝沉积的地震响应。

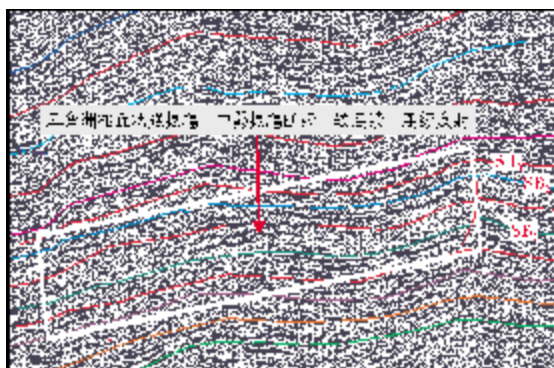


图5 西湖凹陷丘状地震相  
剖面位置见图1的B—B', C类地震相

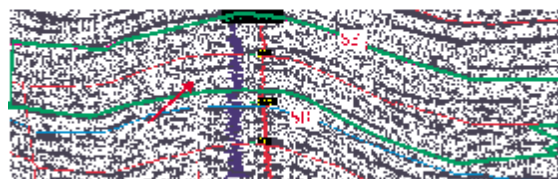
### 2.2.4 平行—亚平行地震相(D类)

平行地震相由一组相互平行的地震反射同相轴构成,亚平行地震相则由一系列反射振幅变化、相互不平行的反射同相轴所构成。平行、亚平行地震相及它们两者之间,可以是多种沉积相的地震响应,例如滨浅湖、浅滩、冲积平原、三角洲平原及三角洲支流间湾、滨浅海、滨浅湖等。

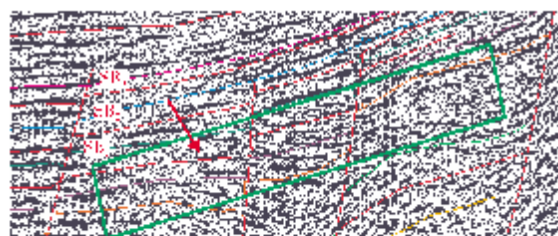
根据反射特征并结合区域地质资料,将西湖凹陷该类地震相又划分为D<sub>1</sub>—D<sub>4</sub>等4种亚类(图6)。



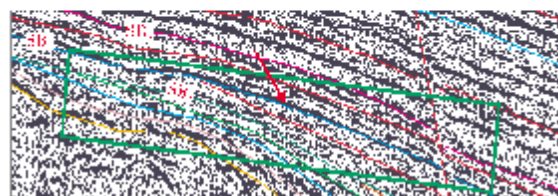
(a) D<sub>1</sub>亚类地震相剖面位置见图1中的C—C'



(b) D<sub>2</sub>亚类地震相剖面位置见图1中的D—D'



(c) D<sub>3</sub>亚类地震相剖面位置见图1中的E—E'



(d) D<sub>4</sub>亚类地震相剖面位置见图1中的F—F'

图6 西湖凹陷平行—亚平行地震相

D<sub>1</sub>亚类 反射特征主要为平行—亚平行、席状、强—中振幅、低频—中频、较连续—连续的反射,反映低能沉积环境。根据研究区情况,该亚类地震相在西湖凹陷花港组主要是滨浅湖—半深湖沉积的地震响应(图6a)。

D<sub>2</sub>亚类 反射特征主要为平行—亚平行、中强振幅—中振幅、中频—高频、较连续—连续的反射,该亚类地震相在西湖凹陷花港组主要是滨浅湖沉积的地震响应(图6b)。

D<sub>3</sub>亚类 反射特征主要为平行—亚平行、强振幅—中振幅、断续—较连续的反射,该亚类地震相在西湖凹陷花港组主要是河流—平原相沉积的地震响应(图6c)。

$D_4$  亚类 反射特征主要为平行—亚平行、中振幅—中弱振幅、中—低频、断续—较连续的反射, 该亚类地震相在西湖凹陷花港组主要是河流—平原相沉积的地震响应(图 6d)。

### 3 地震相分布特征

#### 3.1 各层序地震相的平面分布

地震相分析, 就是由测线到平面, 根据地层地震参数的变化, 把同一地震层序中具有相似参数的地层单元连接起来, 做出地震相的平面分布图。由于各层序沉积时期的沉积环境在平面上存在差异, 由此所发育的沉积相体系也有一定的差异, 因而地震相响应也有所不同。图 7 给出了花港组 4 个四级层序的地震相分布, 各类地震相在这 4 个层序内有不同程度的分布。

A 类前积地震相主要分布于凹陷的东西两侧, 规模相对较大, 根据钻井揭示, 西侧为辫状三角洲沉积的地震响应, 东侧为扇三角洲沉积响应。B 类下凹状地震相反射在全区分布极少, 但在西部保俶斜坡带 KQT 井和 WB 井之间层序  $SIV_2$ (图 7b) 清晰可见, 为辫状三角洲前缘水下分流河道沉积的地震响应。C 类丘状地震相也比较少见, 见于层序  $SIV_3$  中, 主要分布于 HY 井和 YQ 井两井周围(图 7c), 为滨浅湖沉积背景下的砂坝沉积地震响应。D 类平行—亚平行地震相分布比较广泛, 每个亚类在每个层序中均有较广展布。 $D_1$  亚类为浅湖沉积的地震响应, 主要分布于凹陷的北部, 呈北东向带状展布, 范围较小;  $D_2$  亚类主要为滨浅湖砂泥互层沉积的地震响应, 分布于凹陷内的大部分地区;  $D_3$ 、 $D_4$  两个亚类地震相主要发育于凹陷两侧保俶斜坡带和天屏断裂带的边缘, 主要是辫状河流相沉积的地震响应。

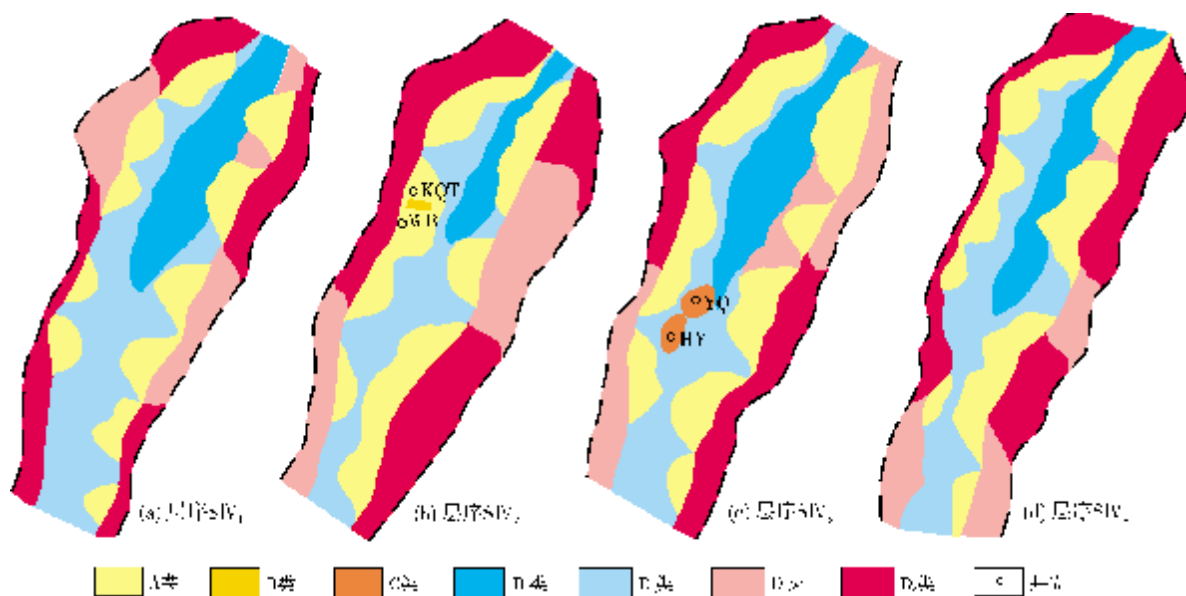


图 7 西湖凹陷花港组地震相平面分布图

#### 3.2 地震相垂向演化特征

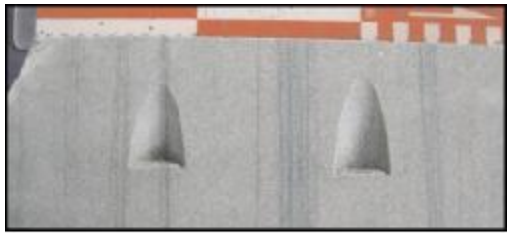
从上述地震相在各层序中的平面分布特征可以看到, 在 4 个四级层序内, A、D 两类地震相具有很好的继承性。不同的是两个下降半旋回(图 7a、7c)较之两个上升半旋回(图 7b、7d), A 类和  $D_1$  类地震相展布面积相对减小, 而  $D_2$  类地震相分布面积加大, 表明湖区平面相对有所收缩, 三角洲、深湖相

分布范围缩小。在层序  $SIV_2$  ( $SIII_1$  层序下降半旋回, 图 7b), A、 $D_1$  类地震相的分布面积达到最小, 而在  $SIV_3$  ( $SIII_2$  层序的上升半旋回, 图 7c), 它们的面积达到最大, 说明在三级层序内, 从  $SIII_1$  至  $SIII_2$  层序自下而上发育一套水进沉积。B 类地震相仅在  $SIV_2$  层序的 KQT 井和 WB 井之间见到, 是由于此类地震相较难识别的缘故。由于受沉积物供给及古气候因素的控制, HY 井和 YQ 井两个井区发育









(a) 濱淺湖砂坝沉积。细砂岩, 发育平行层理夹泥质条带。QY井3988m, 花港组二段



(b) 濱淺湖泥质沉积。发育波状层理、生物潜穴。QY井3399m, 花港组一段

图 10 西湖凹陷花港组濱淺湖亚相沉积

4.2 沉积相分布特征

根据单井相分析和合成地震记录的标定结果, 结合钻井、测井及其他地质资料, 对地震相进行验证和约束解释, 运用瓦尔特相律, 将前述的地震相图(图7)

转换成沉积相图(图11)。西湖凹陷花港组各层序的沉积相展布特征如下。

据对东海盆地西湖凹陷花港组的研究, 确定了区内目的层段以陆相沉积环境为主, 西部主要发育辫状河流相、湖泊三角洲相、濱淺湖相及浅湖相, 在凹陷东部, 由于地形陡, 发育了扇三角洲相沉积。

根据图11可以看出, 4个四级层序的沉积相分布总体具有较强的继承性, 以辫状河流—三角洲平原相、三角洲相及濱淺湖相沉积为主。辫状三角洲主要集中在保俶斜坡带, 其北部、中部规模较大, 前积特征较为明显; 通过对下凹状地震反射特征的识别, 辫状三角洲前缘可清楚地辨别出水下分流河道。濱淺湖在三潭深凹带内较为发育, 浅湖相主要分布在浙东中央背斜带北部, 呈北东向带状展布。东部天屏断裂带地形陡, 发育扇三角洲。总体上三角洲相的砂体都较为发育, SIV<sub>2</sub>、SIV<sub>4</sub>相对于SIV<sub>1</sub>、SIV<sub>3</sub>则较弱, 湖相范围增大, 表明是水进的过程; SIV<sub>4</sub>砂体范围最小, 湖区范围最大, 这也符合区域沉积背景。

5 结 论

(1) 研究区花港组自下而上依次划分出 4 个四级地震层序。依据可信度较高的地震反射结构和外部形态, 结合地震反射振幅和连续性等地震相参数, 在花港组层序中共识别出前积地震相、透镜状地震

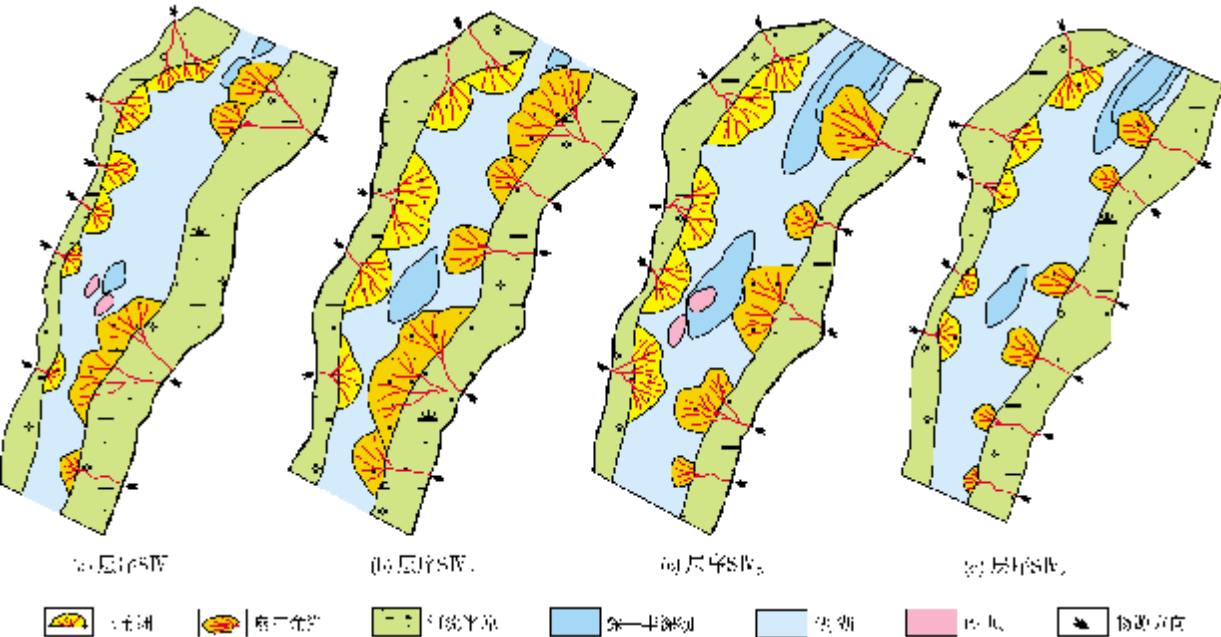


图 11 西湖凹陷花港组各层序的沉积相平面分布图



相、丘状地震相及平行—亚平行地震相(包括四类亚相)等多种地震相类型。

(2)地震相平面分布具有差异性,垂向演化具有继承性和新生性。

(3)确定了区内目的层段以陆相沉积环境为主,主要发育辫状河流相、湖泊三角洲相、滨浅湖相及浅湖相;东部地形陡,发育扇三角洲。

#### 参考文献

- [1] 于兴和. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [2] 武法东,陆永潮. 东海西湖凹陷渐新统花港组海绿石的发现及其意义[J]. 沉积学报,1997,15(3):158-161.
- [3] 王果寿,周卓明. 西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):257-265.
- [4] 孙思敏,彭仕宓. 东海西湖凹陷平湖油气田花港组高分辨率层序地层特征[J]. 石油天然气学报,2006,28(4):184-187.
- [5] 胡明毅,柯岭,梁建设. 西湖凹陷花港组沉积相特征及相模式[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(5):1-5.
- [6] 贾健宜,顾惠荣. 东海西湖凹陷含油气系统与油气资源评价[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [7] 赵金海. 东海中—新生代盆地成因机制和演化(下)[J]. 海洋石油,2005,25(1):1-9.
- [8] 陈琳琳,谢月芳. 东海西湖凹陷花港组沉积模式初探[J]. 海洋石油,1998,18(4):15-21.
- [9] 宋小勇,储呈林,芮志峰. 东海盆地西湖凹陷构造样式及其演化[J]. 高校地质学报,2010,16(1):86-93.
- [10] BROWN L, FISHER W L. Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian rift and pull-apart application to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir, 1977,26:213-248.
- [11] VAIL P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: Seismic stratigraphy interpretation produce [C]// BALLY A W. Atlas of Seismic Stratigraphy. AAPG studies in Geology,1987,27:1-10.
- [12] 顾家裕,邓宏文,朱筱敏. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [13] 顾家裕. 陆相层序地层学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发,1995,22(4):6-10.
- [14] 朱筱敏. 层序地层学原理及应用[M]. 北京:石油工业出版社,1998.
- [15] SHANELY K W, MCCABE P J. Perspective on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bulletin,1994,78(4):544-568.
- [16] SCHUMM S A. River response to base-level changes: Implication for sequence stratigraphy[J]. Journal of Geology,1993,101(3):279-294.
- [17] VAN WAGONER J C, MITCHUM R M, CAMPION K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well, cores and outcrops—Concept for high-resolution correlation of times and facies[M]. AAPG Methods in Exploration Series 7, Tulsa: AAPG, 1990:1-55.
- [18] 孙家振,李兰斌. 地震地质综合解释教程[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [19] 佩顿 C E. 地震地层学[M]. 牛毓荃,译. 北京:石油工业出版社,1980.
- [20] 陆基孟. 地震勘探原理(上、下)[M]. 东营:石油大学出版社,1993.
- [21] SHERIFF R E, GELDART G L. Exploration Seismology[M]. Cambridge University Press,1982.
- [22] 张万选,张厚福,曾洪流. 陆相地震地层学[M]. 东营:石油大学出版社,1993.
- [23] 徐怀大,王世飞,陈开远. 地震地层学解释基础[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1990.

编辑:吴厚松,金顺爱

## Seismic Facies Features and Sedimentary Facies Distribution of Oligocene Huagang Formation in Xihu Sag, East China Sea Basin

Wang Wenjuan, Zhang Yinguo, Zhang Jianpei

**Abstract:** Based on the reliable internal reflection texture and external shapes of the seismic sequence units in Huagang Formation in Xihu Sag, seismic facies of it are divided and named. Amplitude, continuity and other seismic parameters are used in description of seismic sequence units. Four seismic subsequences are divided and several seismic facies in them are identified, which include the foreset, lenticular, mound and parallel-subparallel seismic facies. The last facies is also divided into  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  and  $D_4$  subfacies. These seismic facies show not only differentiation in spatial distribution but also heritability in vertical evolution. After applying drilling, logging and other geological data to interpretation of seismic facies validation and constraint, and then transforming seismic facies into sedimentary facies, it can be ascertained that the Huagang target beds in this area are the sediments in continental environment, in which develop braided river facies, lacustrine delta facies and shallow lake facies as well as fan delta facies in the steep eastern slope.

**Key words:** Oligocene; Huagang Fm.; Seismic facies; Sedimentary facies; Xihu Sag; East China Sea Basin

Wang Wenjuan, female, Geology Engineer. Add: Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources of PRC, Qingdao, Shandong, 266071, China