

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019061401

东海某凹陷断陷期重要不整合面特征及其对沉积演化的控制

张兰¹, 李文俊¹, 常吟善¹, 吴嘉鹏², 万丽芬³, 李昆³

1. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200030

2. 中国石油长城钻探工程有限公司解释研究中心, 北京 100101

3. 中国石油化工股份有限公司上海海洋油气分公司, 上海 200120

摘要:以东海某凹陷二维地震、三维地震及钻测井等资料为基础,开展控凹断层活动定量分析,并且探讨了断陷期重要不整合面特征及其对沉积演化的控制作用。研究表明,东海某凹陷断陷沉积时期,断裂活动从剧烈到平静,地形高差从大到小,形成了3个重要不整合面:断陷幕次界面 T_4^0 和 T_3^4 ,断陷—断拗转换面 T_3^2 。由此,将断陷期划分为3期断陷幕和1期断拗幕:断陷Ⅰ幕(古新统)为构造启动期,其受控于三潭断裂和白堤断裂,分布范围局限,发育近源沉积体系;断陷Ⅱ幕(始新统宝石组)和断陷Ⅲ幕(始新统平湖组下段)为强烈断陷期,地层被断层错断严重,水深较大,西部缓坡带以受潮汐影响的三角洲、潮坪沉积为主,东部陡坡带以扇三角洲沉积为主,受断陷格局限制,扇三角洲以快速沉积、堆积厚度大、沉积范围小、相变快为主要特征;断拗幕(始新统平湖组中上段)为断陷萎缩期,地层开始向拗陷沉积转换,盆地与南部海域沟通变强且水深变浅,凹陷内部以平行岸线的潮流作用为主,发育大规模的非对称性三角洲和陆架潮汐砂脊等,储层富集,可作为有利勘探目标。此外,断陷幕发育扇三角洲等近源沉积,是岩性油气藏的有利发育区,也为深层油气勘探提供了方向。

关键词:断陷;不整合面;沉积体系;东海某凹陷

中图分类号:P744.4

文献标识码:A

Characteristics of major unconformities and their control over sedimentation in rifting stage: A case from the East China Sea

ZHANG Lan¹, LI Wenjun¹, CHANG Yinshan¹, WU Jiapeng², WAN Lifan³, LI Kun³

1. Shanghai Branch of CNOOC, Shanghai 200030, China

2. Geoscience Centre of CNPC Greatwall Drilling Company, Beijing 100101, China

3. Research Institute of Sinopec Shanghai Offshore Petroleum Company, Shanghai 200120, China

Abstract: Based on 2D and 3D seismic data and well drilling data from a Sag in the East China Sea, through quantitative analysis of active sag-controlling faults, the characteristics of the major unconformities and their control over sedimentation in rifting stage are discussed in this paper. The study shows that during the rifting stage, fault activities changed from violent to calm, and the topographic differences changed from large to small, that resulted in three major unconformities: second-order unconformities between rifting episodes T_4^0 and T_3^4 , second-order unconformity between rifting episode and rift-depression episode T_3^2 . Upon the facts, the rifting stage of the sag may be subdivided into 3 rifting episodes and 1 rift-depression episode. The rifting episode I of Palaeocene is the initiation time of tectonic movement, controlled by the Santan fault and the Baidi fault with limited distribution and near-source depositional systems. The rifting episode II of Baoshi Formation and the rifting episode III of Lower Pinghu Formation are the period of intense tectonic movement. During the period, the strata were strongly dislocated by faults, the region was covered by deep water. Tidal delta and tidal flat deposits dominated the gentle slope belt in the west, and fan delta developed in the steep slope belt in the east of the basin. Restricted by rifting depression, the fan delta is characterized by high sedimentation rate, large thickness, limited depositional area and dramatic facies change. The rift-depression episode in the middle and upper stages of the Pinghu Formation represents a shrinking period, the region began to convert to a depression. Water exchange between the basin and the seas in the south was intensified, water became shallower, large-scale asymmetric deltas and tidal sand ridges were well developed. The rift-depression episode and rift episode are favorable for the formation of lithological reservoirs, and the excellent targets for deep oil and gas exploration.

Key words: rifting stage; unconformities; depositional system; a sag of the East China Sea

资助项目:有限综合科研项目“西湖凹陷中深层河流相储层表征及剩余油气挖潜研究”(YXKY-2019-SH-01)

作者简介:张兰(1989—),女,研究生,助理工程师,主要从事沉积储层综合研究和油气田开发工作, E-mail: zhanglan5@cnooc.com.cn

收稿日期:2019-06-14; 改回日期:2020-03-24. 蔡秋蓉编辑

东海某凹陷位于东海陆架盆地东部, 呈北北东向展布, 面积约 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$, 西邻虎皮礁隆起、长江凹陷、海礁隆起、钱塘凹陷及渔山隆起等 5 个构造单元, 东邻钓鱼岛褶皱带, 具有东西分带、南北分块的构造格局。凹陷内部自西向东可划分为 3 个构造带, 即西部斜坡带、中央洼陷反转构造带、东缘陡坡断隆带(图 1), 具有东陡西缓的特征^[1-3]。目前已经建立的新生代地层自下而上划分为古新统(?)、始新统宝石组(T_4^0 - T_3^4)、始新统平湖组(T_3^4 - T_3^0)、渐新统花港组(T_3^0 - T_2^4)、中新统龙井组(T_2^4 - T_2^3)、玉泉组(T_2^3 - T_1^1)、柳浪组(T_1^1 - T_1^0)以及上新统三潭组和第四系东海群(图 2)^[4-5]。

东海某凹陷新生代经历了多次不同性质的区域构造运动, 可划分为断陷期(古新世—始新世)、坳陷期(渐新世—中新世)和区域沉降期(上新世—第四纪)^[6-8]。其中, 断陷期始新统平湖组是东海

某凹陷重要含油气目的层^[9-10], 内部可识别出多个不整合面, 但界面级别和性质存在争议^[11]。李纯洁、李上卿等基于孢粉组合、二维地震等资料, 认为宝石组与上覆平湖组为连续沉积, 指出 T_3^4 为整合面^[12-13]。何将启根据界面上下地层岩性变化认为 T_3^4 是重要的不整合面^[14]。此外, 由于早期二维地震资料品质差, 三维地震资料范围小, 古新统顶面 T_4^0 在地震上难以识别, 研究程度低。上述问题直接制约东海某凹陷断陷期沉积体系的认识。

本文充分利用凹陷内 70 余口钻井资料, 对约 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的连片三维地震数据进行了精细的解释, 在断陷期(T_3^0 -Tg)内部识别出 3 个重大不整合面(图 3)。在此基础上, 对断陷期的断层活动进行定量统计分析, 结合不整合面上下地层展布范围、地震相、测井相等差异分析, 进一步明确 3 个重大不整合面特征及地质意义。考虑到钓鱼岛岩浆弧后期

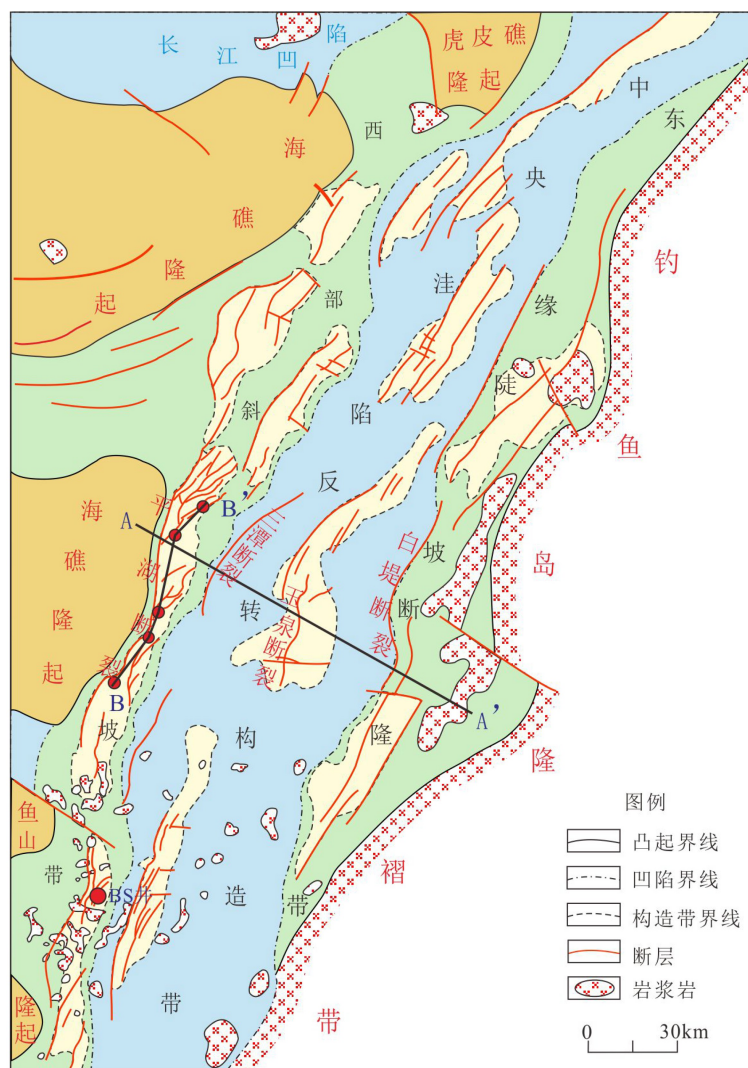


图 1 东海某凹陷构造单元分布

Fig.1 Tectonic map of the study area

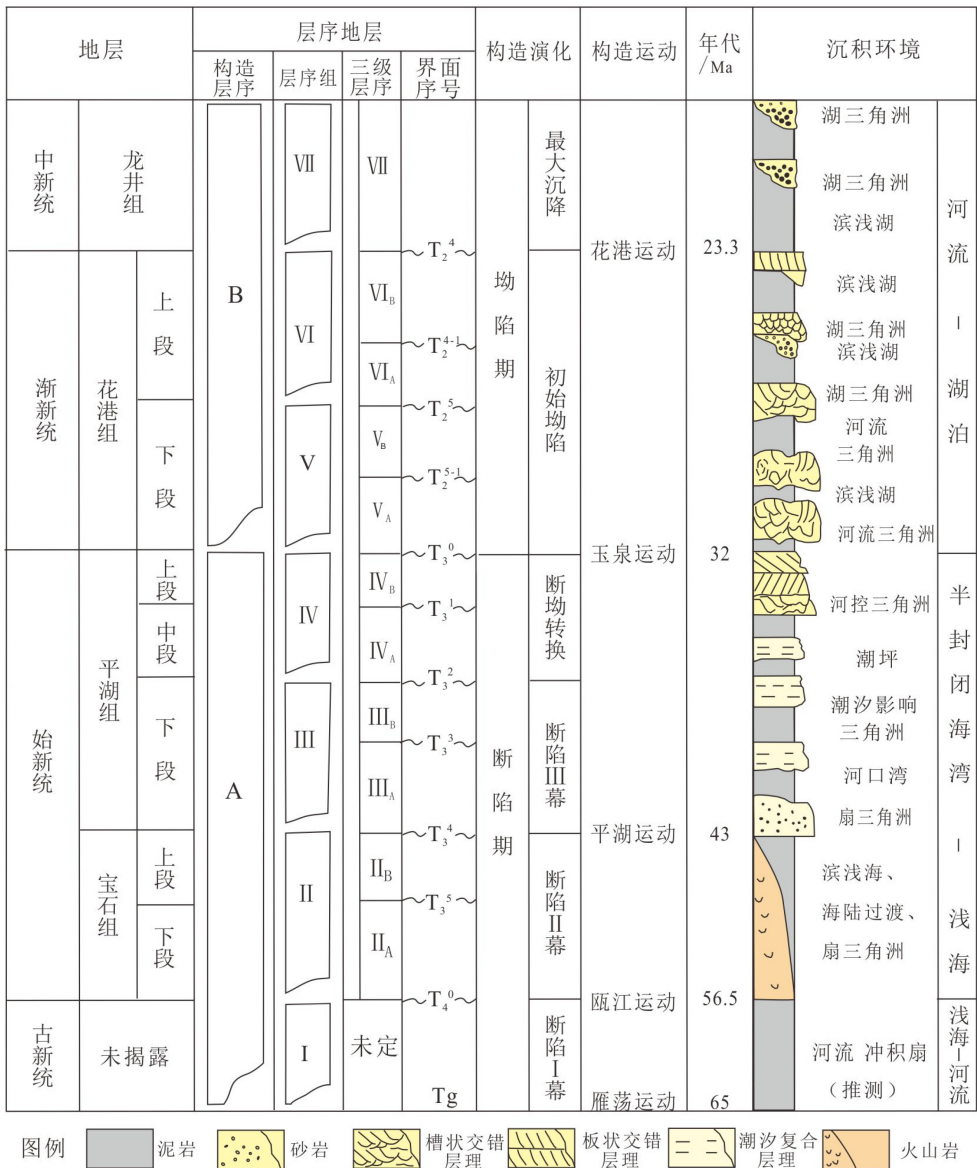


图 2 东海某凹陷地层单元、层序格架和构造演化背景综合图

Fig.2 Stratigraphic column showing the tectonic evolution of the Sag studied

改造强烈,变形过于严重,未对盆地东部的边界断裂进行分析,主要选取了西部的平湖断裂以及中央洼陷反转构造带两侧的三潭断裂和白堤断裂,进行断层活动分析(图 3c)。采用“单位生长断层古落差”参数((上盘厚度-下盘厚度)/上盘厚度)对断裂活动强度进行定量表征。本文旨在厘清断陷期重要不整合面特征和性质,并据此划分构造演化阶段,阐明各阶段内沉积演化特征,为油气勘探方向提供依据。

1 重要不整合面特征

中国东部规模较大的中、新生代裂谷或断陷盆地的断陷过程都具有幕式的特点^[15]。而各个构造幕之间发育较明显的不整合面,其规模比构造层序

间的不整合面规模小,比三级层序间的不整合面规模大,相当于 Vail 层序地层学理论中的层序组界面(图 2,图 3)。此类不整合面将一个完整的构造层序分为断陷启动期、断陷强烈发育期和断陷平静期(断陷萎缩期)^[16-17]。

1.1 T₄⁰——断陷幕次界面

T₄⁰为始新统与古新统的分界面(宝石组底界面),形成于断陷初始阶段,是瓯江运动拉张作用下的产物,也是断陷期的幕次界面。在拉张应力场作用下,3 条主控断裂的活动性在 T₄⁰ 附近均处于最高值,T₄⁰ 被断层错断严重,形成地堑—半地堑、地垒—半地垒相间的构造格局。凹陷内尚无井钻遇古新统,只能借助三维地震资料在 T₃⁴ 与 Tg 之间寻找区

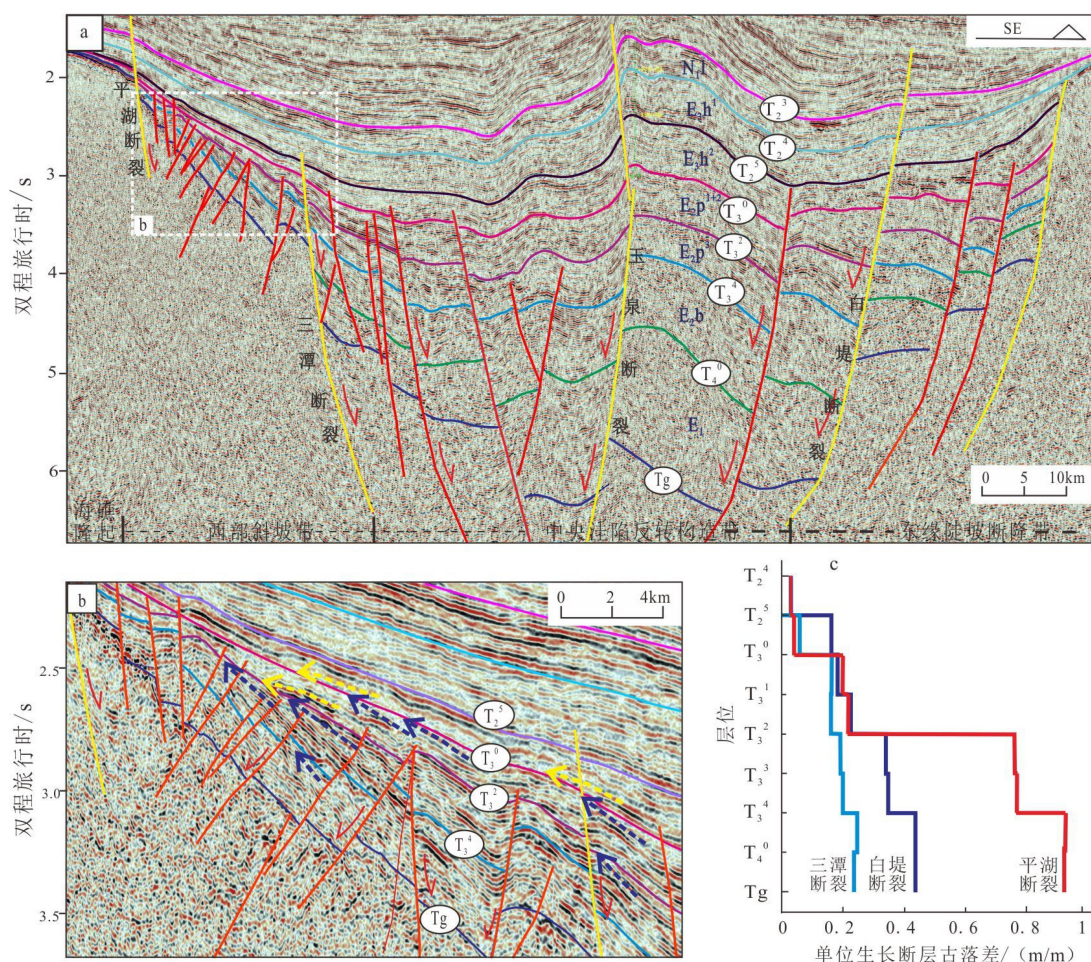


图3 东海某凹陷典型地震剖面特征 (a和b, 剖面位置见图1 AA')及控凹断层单位生长古落差图 (c)

Fig.3 Typical seismic profiles showing the characteristics and the activities of the sag-controlling faults in a Sag in the East China Sea

(see Fig. 1 AA' for position of the section)

域不整合面作为 T_4^0 。 T_4^0 埋深大, 层位连续性差, 横向对比与追踪较为困难。西部斜坡带, 大部分地区缺失古新统, T_4^0 界面不发育; 中央洼陷带, T_4^0 界面具有明显的角度不整合特征, 可见上超、削截等现象, 表现为弱波组与强波组的分界面 (图 4a)。

1.2 T_3^4 ——断陷幕次界面

T_3^4 是始新统宝石组与平湖组之间的分界面。通过对新近采集处理的三维地震资料进行解释, 在 BS1 井及其周边构造识别出 T_3^4 自东向西的削截和上超现象 (图 4b), 认为 T_3^4 是两次断陷幕之间的不整合面, 越过三潭断裂在西部斜坡带广泛发育。 T_3^4 界面地震反射较弱, 连续性差, 界面上的平湖组为平行—亚平行反射, 界面下的宝石组为低频波状、杂乱反射, 在西部斜坡带可见角度不整合 (图 3b)。

如图 4c, T_3^4 界面上下岩性组合发生突变: 界面上以砂泥互层为主, 测井曲线多见钟形、箱型、指状和低幅齿状; 界面之下地层受构造活动影响明

显, 沉积物厚度、岩性差异较大, 岩相横向变化快。从断层单位生长古落差上看, T_3^4 之后, 断裂活动强度都有所减弱, 但平湖断裂的活动强度依旧较大, 约 0.8 m/m, 东部白堤断裂的单位古落差也约 0.4 m/m, 说明 T_3^4 是两次断陷幕之间的转换面 (图 3c)。

1.3 T_3^2 ——断陷—断坳转换面

T_3^2 是始新统平湖组下段与中上段的分界面。本次划分与前人最大的不同是将平湖组划分为两期幕式活动, 认为 T_3^2 是断陷与断坳 (断陷萎缩期) 之间的转换面。

T_3^2 界面上下存在明显上超下削, 局部可见前积反射末端的下超 (图 3b, 图 4d)。界面下平湖组下段的地层厚度横向变化快, 呈现“隆洼相间”的断陷特征; 而界面上平湖组中上段则整体较为平缓, 地层厚度西薄东厚, 呈现断陷萎缩特征。 T_3^2 之下断层断距大, 同沉积断层数量多; T_3^2 之上, 断层断距明显减小, 除后期构造反转断层外, 只有少数断层继

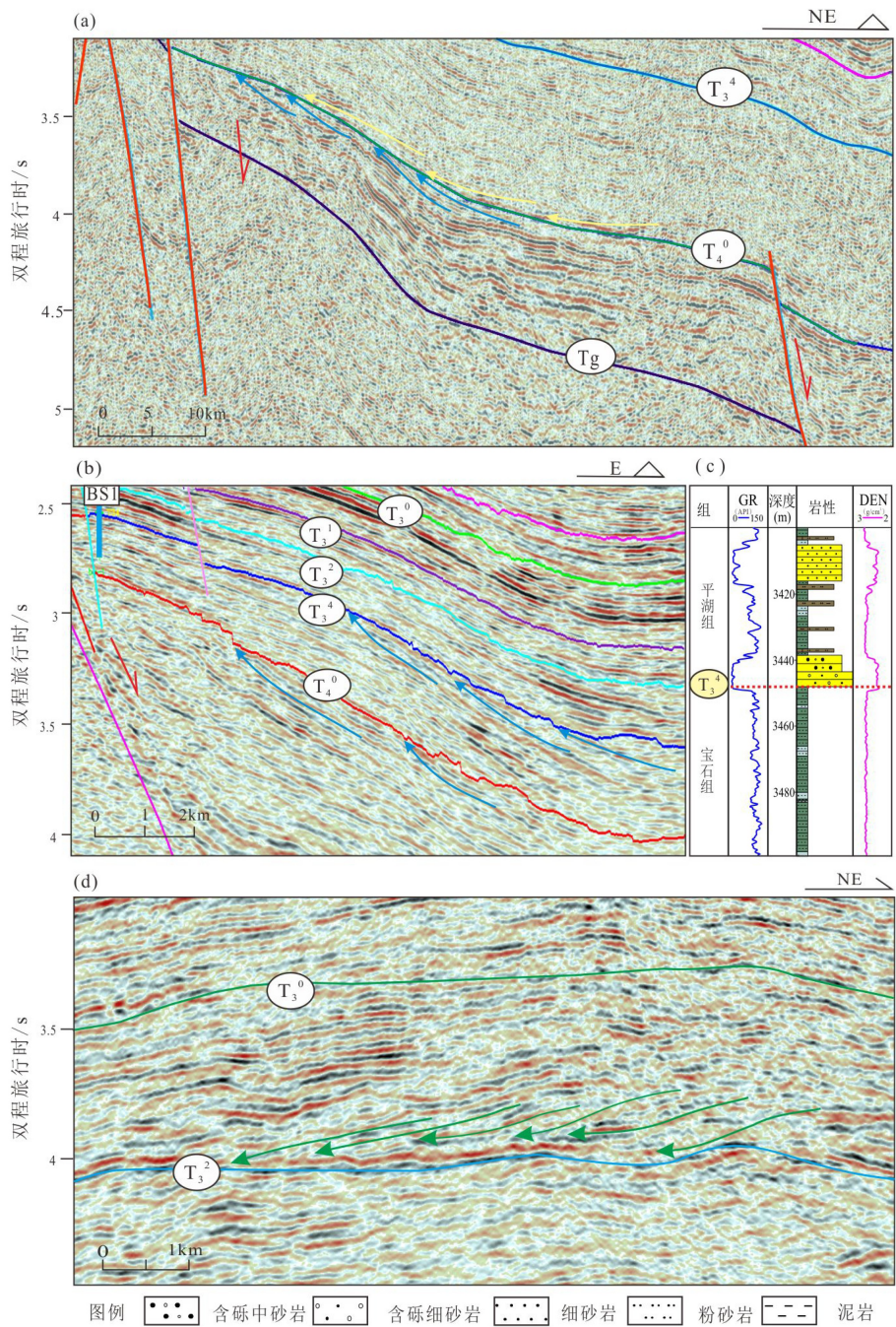


图 4 东海某凹陷主要不整合面地震特征及测录井特征

Fig.4 Seismic and well logging characteristics of major unconformities in a Sag of the East China Sea

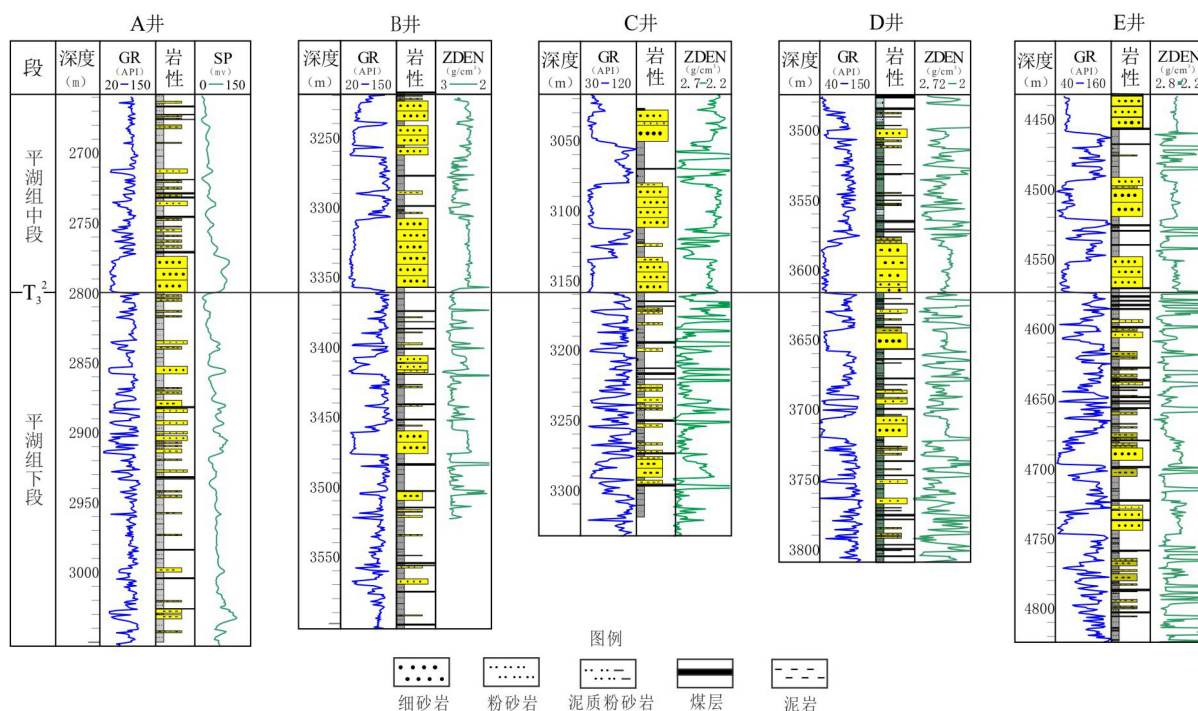
续活动。从图 3c 看, T_3^2 附近平湖断裂和白堤断裂的单位断层生长古落差呈断崖式下降, 3 条主控断层活动强度都降到 0.2~0.3 m/m 附近, 盆地从断裂强烈活动阶段演化为断裂萎缩阶段。

T_3^2 界面上下的岩性特征也有很大差异(图 5)。界面上平湖组中上段厚层砂岩横向稳定发育, 类似坳陷期的充填特征; 界面下平湖组下段以砂泥互层为主, 砂岩含量明显变少, 呈“泥包砂”的特征, 局部夹有块状砂岩。 T_3^2 界面不仅仅是断陷期与断陷萎缩期的转换面, 也是岩相组合的突变面。

通过断陷期重要不整合面上下的地震特征、地层特征、钻井特征及断层活动性对比分析, 认为晚白垩世至始新世, 东海某凹陷经历了断陷形成、发展到消亡的完整过程, 由此形成了断陷幕次界面 T_4^0 和 T_3^4 , 以及断陷-断坳转换面 T_3^2 (图 2, 图 6)。

2 沉积演化特征

断陷期被 T_4^0 、 T_3^4 、 T_3^2 界面分为 4 期构造幕, 分别代表不同构造演化阶段, 其中古新世为构造启动

图5 东海某凹陷 T_3^2 界面上下测录井特征 (位置见图1 BB')Fig.5 Well logging Characteristics of interface T_3^2 in a Sag of the East China Sea (see Fig. 1 BB' for position of the section)

期,始新世早期为构造强烈发育期,始新世晚期为构造平静期(构造萎缩期)。在断陷沉积逐渐扩大并向断坳沉积转化的过程中,控凹断裂控制了盆地整体的构造格局(图6),直接制约着可容纳空间的变化和沉积物堆积,各个构造幕内沉积特征均存在明显的差异(图7)。

2.1 断陷 I 幕

断陷 I 幕(古新统)为构造启动期,断裂活动范围局限,伸展作用主要集中在凹陷中央,相应的沉积和沉降中心亦位于中央洼陷带。中央洼陷带发育一系列北东—北北东向的同沉积断层,地层被断层切割,形成东陡西缓的地堑或半地堑。该时期三潭断裂是凹陷西侧的控边断裂,断裂以东,古新统发育完整、厚度大;断裂以西,古新统普遍缺失(图6a)。凹陷东西两侧主控断层对沉积有较强的控制作用,断层根部地震相多为中—强振幅的高角度杂乱前积反射、波状反射,推测发育冲积扇、水下扇等近源沉积(图7)。

2.2 断陷 II 幕

断陷 II 幕对应始新统宝石组(T_4^0 - T_3^4),该阶段盆地持续扩张,可容纳空间增大,宝石组越过三潭断裂在西部斜坡带广泛分布(图6b)。断陷 II 幕主要发育断坡型充填,地层厚度由盆地中央向两侧快

速减薄,以较粗碎屑沉积为主,砂体受断层控制,沿断层展布(图7)。凹陷西部,可识别出明显的前积反射,发育三角洲或扇三角沉积。受断陷格局限制,扇三角洲以快速沉积、堆积厚度大、沉积范围小、相变快、多方向物源为主要特征。岩心上可见褐色铁质中砂岩、粗砾岩,砾石磨圆差,局部发育快速沉积的火焰状构造(图8a、b、c)。同时,断陷期火山作用频繁,火山岩、凝灰岩发育(图8d)。凹陷西南部与广海沟通,受潮汐作用的影响,以海湾—潮坪沉积为主。凹陷东部为断阶带,地形较陡,断层对沉积具有较强的控制作用,地震相多为杂乱反射,沉积体以阵发性的短轴扇三角洲和冲积扇为主(图7,图9a)。断陷期,盆地内发育扇三角洲等近物源沉积体系,储层横向变化快,非均质性强,但靠近深部成熟热液岩,是岩性油气藏勘探的有利区带。

2.3 断陷 III 幕

断陷 III 幕为断陷 II 幕的继承性发育,对应始新统平湖组下段(T_3^4 - T_3^2),是勘探开发的重点层段^[18-21]。该时期断裂坡折的发育将盆地分割成隆洼相间的格局,水深较大,断裂作用在凹陷中部形成水下地垒或古隆起(图6c),对沉积充填起到阻挡作用,水下断隆阻挡了西部的沉积物进一步往凹陷中央搬运,大量砂体沿断隆西侧展布,东侧主要以泥岩为主(图7)。在西部斜坡带内侧,水动力以垂直岸线

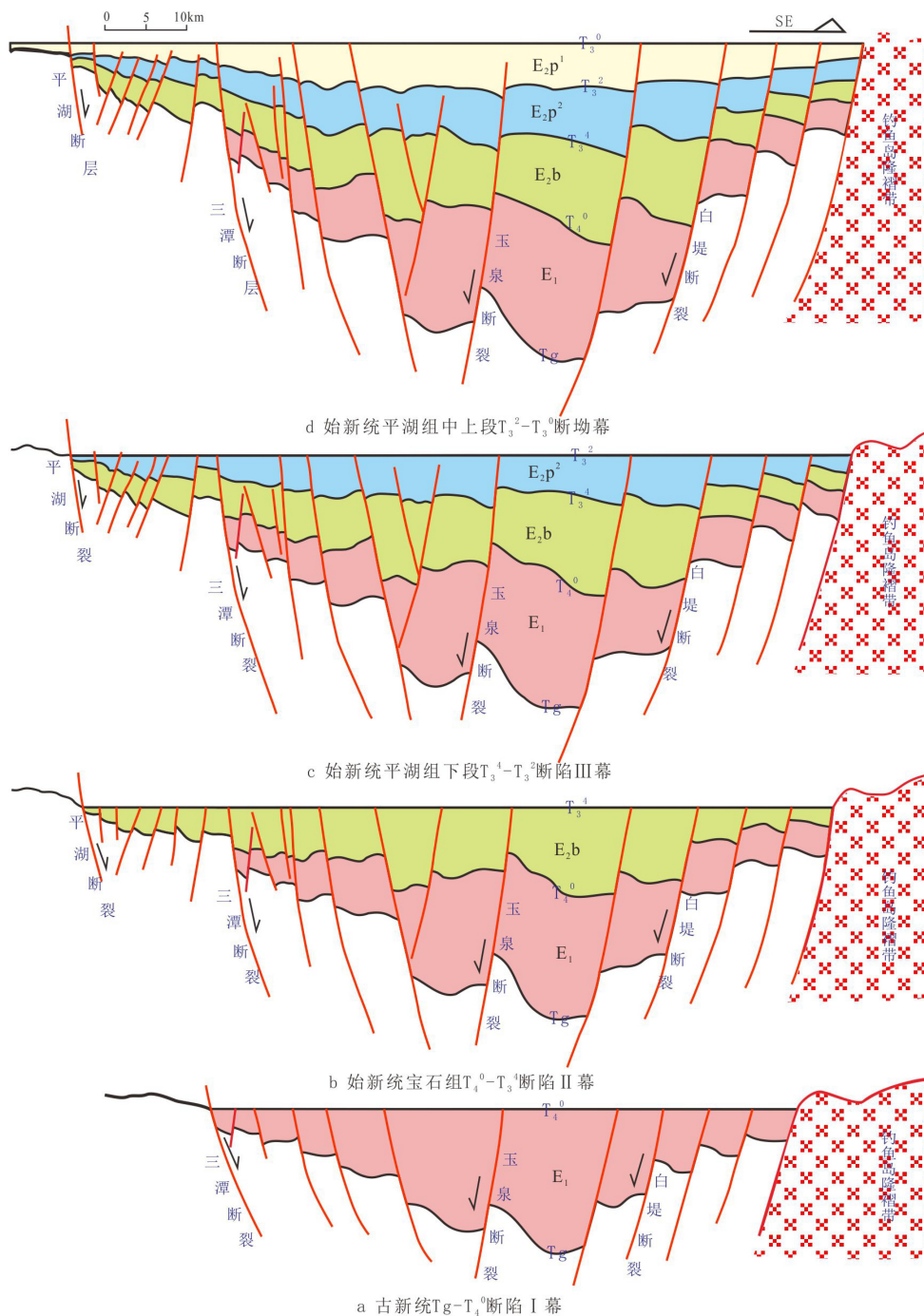


图6 东海某凹陷断陷期构造演化剖面

Fig.6 Structural evolution in the rift stage of a Sag in the East China Sea

的潮流作用为主,加之凹陷两侧短轴物源的影响,西部斜坡带主要发育受潮汐影响的三角洲、河口湾等沉积相,并在其前端发育辐射状的河口湾型砂脊(图9a)。岩心观察多见双黏土层、透镜状层理、波状层理等(图8e、f、g、h、i)。其中,潮上一潮间带发育煤层,可见生物扰动现象(图8j、k)。东部陡坡带主控断层对沉积具有较强的控制作用,存在东北方向的长轴物源以及东侧的短轴物源^[22],盆地边缘见前积反射和杂乱反射,发育扇三角洲沉积。

2.4 断坳幕

断坳幕对应始新统平湖组中上段,断层对沉积的控制作用减弱,地层超覆于西部海礁隆起上,断裂两侧地层厚度差异减小,向西逐渐抬升剥蚀,而非断层上下盘的差异剥蚀(图6d,图7)。相比断陷幕,断坳幕地势差异变小,物源供给充足,盆地与南部海域沟通变强且水深变浅,凹陷内部以平行岸线的潮流作用为主。受此影响,主要发育非对称三角

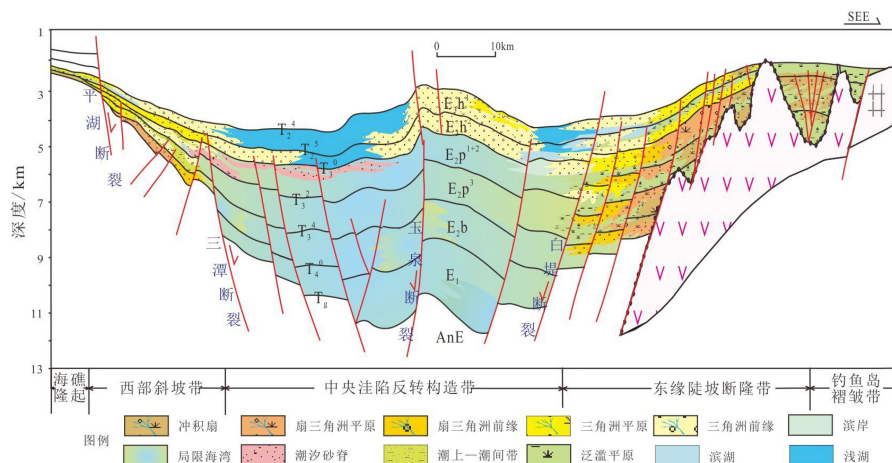


图 7 东海某凹陷典型地质剖面沉积特征 (剖面位置见图 1 AA')

Fig.7 Sedimentation characteristics of the typical geological profile in a Sag of the East China Sea (see Fig. 1 AA' for position of the section)



图 8 东海某凹陷断陷期典型岩心照片

(a) 宝石组, W 井, 4 271.12 m, 褐色铁质中砂岩; (b) 宝石组, P1 井, 4 191.15 m, 灰白色含砾砂岩, 砾石定向排列; (c) 宝石组, BS1 井, 3 805.3 m, 火焰状构造; (d) 宝石组, B 井, 4 259.32 m, 火山岩; (e) 平湖组下段, P1 井, 3 867.03 m, 双黏土层; (f) 平湖组下段, T1 井, 3 964.21 m, 羽状交错层理; (g) 平湖组下段, T2 井, 3 966.28 m, 双向交错层理、波纹层理; (h) 平湖组下段, P2 井, 3 496.87 m, 透镜状层理; (i) 平湖组下段, K6 井, 4 341.43 m, 潮汐韵律层理; (j) 平湖组下段, K5, 4 202.89 m, 煤层; (k) 平湖组下段, P2 井, 3 388.93 m, 生物扰动; (l) 平湖组中上段, K5 井, 4 192.7 m, 杂色砾岩, 磨圆好; (m) 平湖组中上段, G 井, 4 076.54 m, 撕裂状泥砾; (n) 平湖组中上段, J1 井, 4 131.66 m 平行层理和土黄色硅质砾岩; (o) 平湖组中上段, C 井, 3 506 m, 板状交错层理; (p) 平湖组中上段, J2 井, 4 125.43 m, 冲刷面、底部发育泥砾。

Fig.8 Photographs of typical core from a Sag in the East China Sea during rifting stage

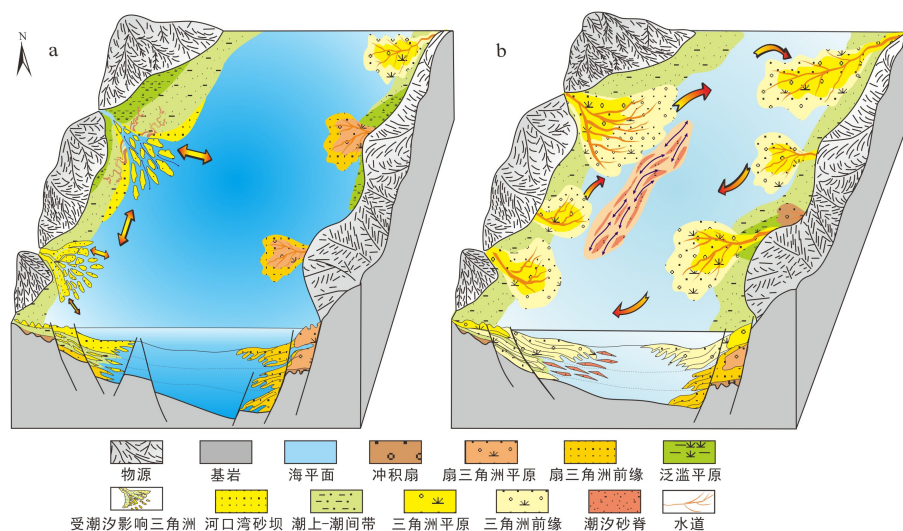


图9 东海某凹陷断陷幕(a)与断拗幕(b)沉积模式图

Fig.9 Sedimentation models of rifting episode(a) and rift-depression episode(b) in a Sag of the East China Sea

洲,并且三角洲前缘沉积物被搬运改造,发育大规模的陆架型潮汐砂脊(图9b)。

该时期,东西两侧三角洲体系向凹陷中央推进较远,潮间带范围明显扩大。三角洲平原分流河道可见杂色砾石、泥岩撕裂等现象(图8l、m、n),三角洲前缘水下分流河道可见板状交错层理、平行层理以及冲刷面(图8n、o、p)。潮汐作用对三角洲输送的砂泥进行改造和重新分配,在凹陷中央形成陆架砂脊群,地震上可见到大片条带状的振幅异常,与单个砂脊形态相对应^[23]。凹陷东部可见明显前积反射(图4d),发育扇三角洲和三角洲体系。断拗幕储层富集,靠近中央洼陷带的陆架砂脊规模大、厚度大,并且顶底均被陆架泥岩包围,保存条件良好,可作为有利目标。

东海某凹陷断陷沉积逐渐扩大并向断拗沉积转化的过程中,断裂活动从剧烈到平静,地形高差从大到小,沉积体系也由早期的近源扇三角洲快速堆积演化为受潮汐影响的三角洲—潮坪沉积,进而发展成晚期的建设性三角洲、陆架砂脊体系(图9)。不同的构造阶段控制了相应沉积体系的发育,进而影响了有利相带的分布。

3 结论

晚白垩世至始新世,凹陷经历了断陷形成、发展到消亡的完整过程,并由此形成了断陷幕次界面 T_4^0 和 T_3^4 ,以及断陷—断拗转换面 T_3^2 。上述3个界面将断陷期分为4期构造幕,分别控制不同构造阶段的沉积演化。断陷I幕(古新统)属构造启动期,

其受控于三潭断裂和白堤断裂,分布范围局限,埋深大,发育近源沉积体;断陷II幕(宝石组)和断陷III幕(平湖组下段)属构造强烈发育期,该阶段地层被断层错断严重,水深较大,以垂直岸线的潮流作用为主,加之凹陷两侧短轴物源的影响,西部缓坡带以受潮汐影响三角洲、潮坪为主,东部陡坡带发育扇三角洲,以快速沉积、堆积厚度大、沉积范围小、相变快为主要特征;断拗幕(平湖组中上段)则代表构造萎缩期,地层开始向拗陷沉积转换,盆地与南部海域沟通变强且水深变浅,凹陷内部以平行岸线的潮流作用为主,发育大规模非对称性三角洲和陆架潮汐砂脊等,储层最为富集,是有利的储集相带。此外,断陷幕发育扇三角洲等近源沉积体,靠近深部成熟烃源岩,是岩性油气藏发育的有利区,也是未来深层勘探的重点。

参考文献 (References)

- [1] 贾健谊, 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. [JIA Jianyi, GU Huirong. Oil-Bearing Systems and Petroleum Assessment of the Xihu Sag in the East China Sea[M]. Beijing: Geological Publish House, 2002.]
- [2] 陶瑞明. 从西太平洋板块构造探讨东海陆架盆地形成机制和类型划分[J]. 中国海上油气(地质), 1994, 8(1): 14-20. [TAO Ruiming. Discussion on basin formation mechanism and basin types in East China Sea continental shelf basin based on West Pacific plate tectonics [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1994, 8(1): 14-20.]
- [3] 姜亮. 东海陆架盆地油气资源勘探现状及含油气远景[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(1): 1-5. [JIANG Liang. Exploration status and perspective of petroleum resources in East China Sea shelf basin [J].

- China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(1): 1-5.]
- [4] 武法东, 张燕梅, 周平, 等. 东海陆架盆地第三系沉积-构造动力背景分析[J]. 现代地质, 1999, 13(2): 157-161. [WU Fadong, ZHANG Yanmei, ZHOU Ping, et al. Tertiary basin setting analysis and sedimentary dynamics of the East China Sea shelf basin [J]. Geoscience, 1999, 13(2): 157-161.]
- [5] 胡惠娟. 东海平湖构造带地质构造特征及含油气条件[J]. 海洋石油, 2003, 23(1): 1-7. [HU Huijuan. Geological features and hydrocarbon-bearing condition of the Pinghu tectonic belt, the East China Sea [J]. Offshore Oil, 2003, 23(1): 1-7.]
- [6] 刘景彦, 林畅松, 肖建新, 等. 东海西湖凹陷第三系主要不整合面的特征、剥蚀量的分布及其意义[J]. 现代地质, 1999, 13(4): 432-438. [LIU Jingyan, LIN Changsong, XIAO Jianxin, et al. Characteristics and erosions of the major tertiary unconformities and their significance to petroleum exploration in the Xihu trough, the East China Sea [J]. Geoscience, 1999, 13(4): 432-438.]
- [7] 李上卿. 东海西湖凹陷新生代地质构造特征与演化[J]. 海洋石油, 2000, 20(2): 8-14. [LI Shangqing. Cenozoic basin geological tectonic feature and evolution in Xihu trough, the East China Sea [J]. Offshore Oil, 2000, 20(2): 8-14.]
- [8] 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. [SONG Xiaoyong, CHU Chenlin, RUI Zhifeng. Structural framework and evolution of Xihu Sag in East China Sea Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2010, 16(1): 86-93.]
- [9] 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, 306. [GU Huirong, JIA Jianyi, YE Jiaren. Characteristics of oil and gas bearing system in Xihu lake depression in the East China Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 295-297, 306.]
- [10] 须雪豪, 陈琳琳, 汪企浩. 东海陆架盆地中生界地质特征与油气资源潜力浅析[J]. 海洋石油, 2004, 24(3): 1-7. [XU Xuehao, CHEN Linlin, WANG Qihao. Analysis of mesozoic geological characteristics and resource potential in the East China Sea shelf basin [J]. Offshore Oil, 2004, 24(3): 1-7.]
- [11] 余朝丰, 陈建文, 杜远生, 等. 东海西湖凹陷平湖组层序地层划分[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(5): 85-90. [YU Chaofeng, CHEN Jianwen, DU Yuansheng, et al. Division of sequence stratigraphy of Pinghu Formation in Xihu Sag in East China Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(5): 85-90.]
- [12] 李纯洁, 张清胜, 孟其林. 东海宝石一井第三纪地层层序及沉积环境浅析[J]. 海洋石油, 2002, 22(4): 14-23. [LI Chunjie, ZHANG Qingsheng, MENG Qilin. Preliminary research of stratigraphic sequence and paleosedimentary environments of tertiary system of Baoshi - 1 well in the East China Sea [J]. Offshore Oil, 2002, 22(4): 14-23.]
- [13] 李纯洁, 李上卿, 许红. 西湖凹陷中-下始新统宝石组油气地质与勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(4): 81-87. [LI Chunjie, LI Shangqing, XU Hong. Petroleum geologic characteristics and exploration potential of Middle-Lower Eocene Baoshi Formation in the Xihu Sag [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2004, 24(4): 81-87.]
- [14] 何将启, 杨凤丽. 东海西湖凹陷新生代盆地原型分析[J]. 海洋石油, 2003, 23(S1): 13-20. [HE Jiangqi, YANG Fengli. Prototype basin analysis in Cenozoic for Xihu Sag, East China Sea [J]. Offshore Oil, 2003, 23(S1): 13-20.]
- [15] 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等. 中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型[J]. 地球科学, 2004, 29(5): 583-588. [LIN Changsong, ZHANG Yanmei, LI Sitian, et al. Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in eastern China [J]. Earth Science, 2004, 29(5): 583-588.]
- [16] 林畅松, 刘景彦, 张英志, 等. 构造活动盆地的层序地层与构造地层分析——以中国中、新生代构造活动湖盆分析为例[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 365-374. [LIN Changsong, LIU Jingyan, ZHANG Yingzhi, et al. Sequence stratigraphy and tectono-stratigraphic analysis of tectonically active basins: A case study on the Cenozoic-Mesozoic lacustrine basins in China [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 365-374.]
- [17] 王英民. 对层序地层学工业化应用中层序分级混乱问题的探讨[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 9-15. [WANG Yingming. Analysis of the mess in sequence hierarchy applied in the industrialized application of the sequence stratigraphy [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 9-15.]
- [18] 杨凤丽, 何将启, 江兴歌, 等. 东海西湖凹陷第三系油气运聚分析[J]. 海洋石油, 2003, 23(S1): 25-29. [YANG Fengli, HE Jiangqi, JIANG Xingge, et al. Petroleum migration and accumulation in tertiary for Xihu Sag, East China Sea [J]. Offshore Oil, 2003, 23(S1): 25-29.]
- [19] 彭伟欣. 东海油气勘探成果回顾及开发前景展望[J]. 海洋石油, 2001, 21(3): 1-6. [PENG Weixin. Prospects for developments and retrospects for oil/gas exploratory results in the East China Sea [J]. Offshore Oil, 2001, 21(3): 1-6.]
- [20] 刘成鑫. 东海平湖油气田平湖组沉积相研究[J]. 海洋石油, 2010, 30(2): 9-13. [LIU Chengxin. Study on sedimentary facies for Pinghu Formation in Pinghu oil and gas field in East China Sea Basin [J]. Offshore Oil, 2010, 30(2): 9-13.]
- [21] 胡明毅, 沈娇, 胡蝶. 西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 185-191. [HU Mingyi, SHEN Jiao, HU Die. Reservoir characteristics and its main controlling factors of the Pinghu Formation in Pinghu structural belt, Xihu Depression [J]. Oil and Gas Geology, 2013, 34(2): 185-191.]
- [22] 吴嘉鹏, 张兰, 万丽芬, 等. 西湖凹陷平湖组物源分析[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(2): 50-57. [WU Jiapeng, ZHANG Lan, WAN Lifan, et al. Provenance analysis of Pinghu Formation in Xihu sag [J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(2): 50-57.]
- [23] 吴嘉鹏. 西湖凹陷平湖组潮汐砂脊的发现及意义[J]. 沉积学报, 2016, 34(5): 924-929. [WU Jiapeng. Discovery of tidal sand ridges and its significance of Pinghu Formation in Xihu Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016, 34(5): 924-929.]