

刘英辉, 蔡华, 段冬平, 等. 西湖凹陷平湖地区平湖组海侵体系域潮控三角洲-潮坪沉积特征及模式[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(1): 33-40.
LIU Yinghui, CAI Hua, DUAN Dongping, et al. The sedimentary characteristics of tidal delta and tidal flat in transgressive system tract of Pinghu Formation in Pinghu area, Xihu Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(1): 33-40.

西湖凹陷平湖地区平湖组海侵体系域潮控 三角洲-潮坪沉积特征及模式

刘英辉¹, 蔡华², 段冬平¹, 荣乘锐¹, 常吟善¹, 徐清海³

(1 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335; 2 中海石油(中国)研究总院有限责任公司, 北京 100028;
3 长江大学地球科学学院, 武汉 430058)

摘要: 西湖凹陷始新统平湖组发育海陆过渡相沉积体系, 岩性组合以三角洲-潮坪过渡相的砂、泥、煤薄互层为特征, 由于沉积构造复杂、沉积微相类型多样, 不同学者对沉积体系类型的认识一直存在争议, 沉积体系及沉积模式的不确定性进一步制约了平湖组勘探开发的进程。基于平湖组岩芯、测井及分析化验资料, 厘定了平湖组一、二段海侵域 P7 层典型相类型及相标志, 采用地震沉积学地层切片方法提取了典型潮控三角洲地质形态, 总结了西湖凹陷平湖组海侵域潮控三角洲典型沉积特征。研究区潮控三角洲砂体受潮汐改造作用强, 发育典型双黏土层、再作用面、韵律层理、潮汐束等沉积构造; 潮控三角洲主要发育三角洲前缘亚相, 局部发育三角洲平原; 海侵时期海平面快速上升, 三角洲前缘受潮汐改造作用强, 形成潮汐砂坝与潮汐水道为主的砂体, 潮控三角洲侧边发育潮汐水道为主的砂体, 潮汐砂坝与潮汐水道是有利的储层发育相带。研究区潮控三角洲沉积模式的建立为西湖凹陷平湖组滚动勘探开发指明方向。

关键词: 潮控三角洲; 潮坪; 沉积模式; 海侵域; 平湖组; 西湖凹陷

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.147

0 引言

西湖凹陷是东海陆架盆地目前发现的主要含油气凹陷, 其中平湖组为主力产气层段。由于平湖组沉积受到河流与潮汐的相互作用^[1-2], 从近端到远端水力作用以及相带的变化复杂, 使其古地貌特征、岩相组合以及微相类型多样, 沉积体系类型复杂及其众多的水道和砂坝平面展布规律不明^[3-4]。到目前为止, 研究区仍没有建立合适的沉积模式, 这严重制约着油气进一步的勘探与开发。研究区钻井少、取芯资料有限, 仅依靠井点资料对研究区沉积

的认识有限, 砂体横向变化较快, 井间有利砂体的预测难度大。地震沉积学充分利用地震资料横向分辨率较大的优点, 通过地震地貌与地震岩性的分析, 再现卫星照片式的沉积体平面形态展布^[5-8]。针对海上少井地区利用地震沉积学和已钻井的取芯资料, 可以较大地落实储层的平面展布, 预测有利砂体的发育位置。

关于西湖凹陷平湖组沉积体系类型, 前人通过构造背景、岩芯、古生物、地球化学、指相矿物、测井等资料进行了大量的探讨^[9-18]。任建业等^[9]认为, 在平湖组沉积时期, 西湖凹陷受太平洋板块的挤压整体处于局限海沉积背景。在这种局限海背景下, 西湖凹陷潮汐-河流作用力均较强, 于兴河等^[12]认为平湖组处于海陆过度、河潮共控的沉积背景, 无显著浪控作用标志, 整体上发育潮汐-三角洲沉积体系^[13-18]。但其中三角洲砂体受潮汐影响程度及其典型沉积特征与微相平面展布鲜有论述。

收稿日期: 2021-05-24

资助项目: 中海石油(中国)有限公司重大科技专项“西湖凹陷在生产油气田中后期综合调整挖潜技术研究与实践”(CNOOC-KJ135ZDXM39SH03)

作者简介: 刘英辉(1989—), 男, 硕士, 研究员, 主要从事沉积储层方面的研究工作。E-mail: liuyh70@cnooc.com.cn

本文基于岩芯、测井及分析化验资料厘定了平湖组一、二段海侵域典型相类型及相标志。在沉积类型确定的基础上,首次采用地震沉积学对研究区P7层沉积体平面展布进行刻画。通过地层切片提取平面属性,在实际钻井标定下,对平面属性所反映的地质特征进行沉积解释。建立了西湖凹陷平湖组潮汐影响三角洲沉积模式,预测三角洲前缘的潮汐砂坝与潮汐水道、潮控三角洲侧边的潮汐水道是有利砂体的发育部位。此研究可为研究区下一步滚动勘探开发指明方向,同时,亦可为相似沉积背景地区储层预测提供参考,丰富潮控三角洲的沉积研究。

1 地质概况

平湖油气田位于东海大陆架盆地西湖凹陷西斜坡中段,由放鹤亭、八角亭、武云亭等局部构造组成,放鹤亭构造被断层划分为放一、放二、放三和放南4个断块,放一和放二断块是主要开发区^[17](图1)。西湖凹陷经历了早期断陷、后期多次挤压隆起的地质演化,平湖组沉积时期主要处于盆地演化的断陷阶段晚期,盆地构造相对抬升,水域面积缩小,直至平湖组晚期,龙井运动造成区域抬升剥蚀,海水退出西湖凹陷,上覆不整合沉积花港组陆相地层(图2)^[19-20]。平湖组一、二段位于平湖组顶部,

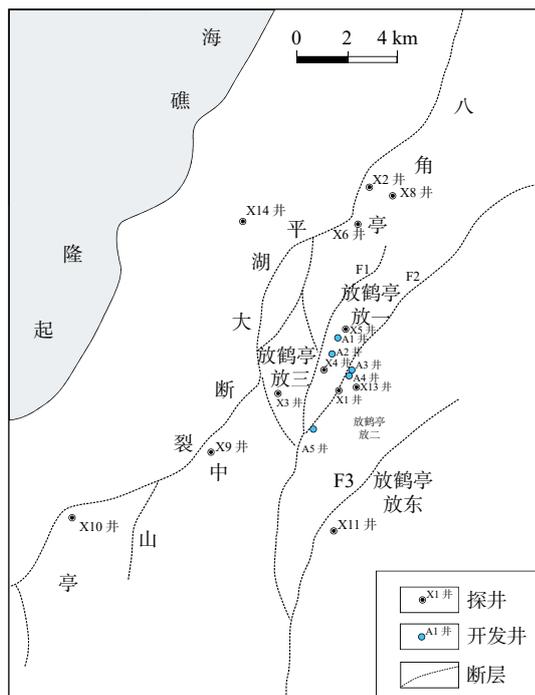


图1 平湖油气田构造位置^[17]

Fig.1 Tectonic location of Pinghu Oil-Gas Field^[17]

发育的钙质超微、沟鞭藻、有孔虫、介形类和瓣鳃类古生物组合指示了咸水-半咸水沉积环境,结合其他地球化学和古生物研究成果认为,平湖组沉积环境为海陆过渡相的潮控三角洲-潮坪沉积体系,有效储层与富烃源岩间互发育,形成高效的自生自储油气藏,是西湖凹陷平湖地区最主要的勘探开发层系^[21-24]。

2 平湖组典型特征沉积及沉积体系类型

平湖组发育海陆过渡沉积体系三角洲-潮坪相,其中海侵域以潮坪及潮控三角洲为主。笔者利用10余口井的岩芯、测井资料,通过对岩石类型、沉积构造、垂向组合关系对比,重点探讨了海侵域潮控三角洲典型沉积特征。

2.1 典型沉积构造特征

对研究区岩芯的详细观察与描述,平湖组沉积岩岩性主要是细砂岩、粉砂岩与泥岩,但是沉积构造类型多样,其中主要的沉积构造类型有生物扰动构造(图3A、B)、潮汐韵律层理(图3A、C、D)、潮汐束、透镜状层理(图3D)、脉状层理(图3E)、块状层理(图3E)、撕裂状泥砾(图3F)、沙纹层理(图3H)、双黏土层(图3I)、再作用面(图3I),偶见火焰状构造(图3D)。

生物扰动以高角度倾斜的生物钻孔(图3A)、生物潜穴和觅食迹(图3B)为主。垂直钻孔造迹生物几乎全是食悬浮物的海底内滤食性动物,指代的生态环境是水动力条件中等到相对较高能量的潮间带下部到潮下浅水等较高能的地区。生物潜穴和觅食迹主体出现在水动力较弱的泥坪。

潮汐沙坝常发育多组交错层理,通常上部的交错层理会切割下部的交错层理,形成再作用面(图3I)。

综合生物遗迹、再作用面、韵律层理等沉积构造特征可以判断平湖组沉积受潮汐影响明显。

2.2 测井相类型

在建立的钻井点上沉积体系信息基础之上,对不同沉积体系下各层段测井曲线进行分析,明确不同沉积体系内部测井曲线差异特征。根据曲线接触关系及曲线形态对平湖组不同沉积微相对应的测井相进行分析和总结。

测井曲线的形状(包括单层或组合形状)是测

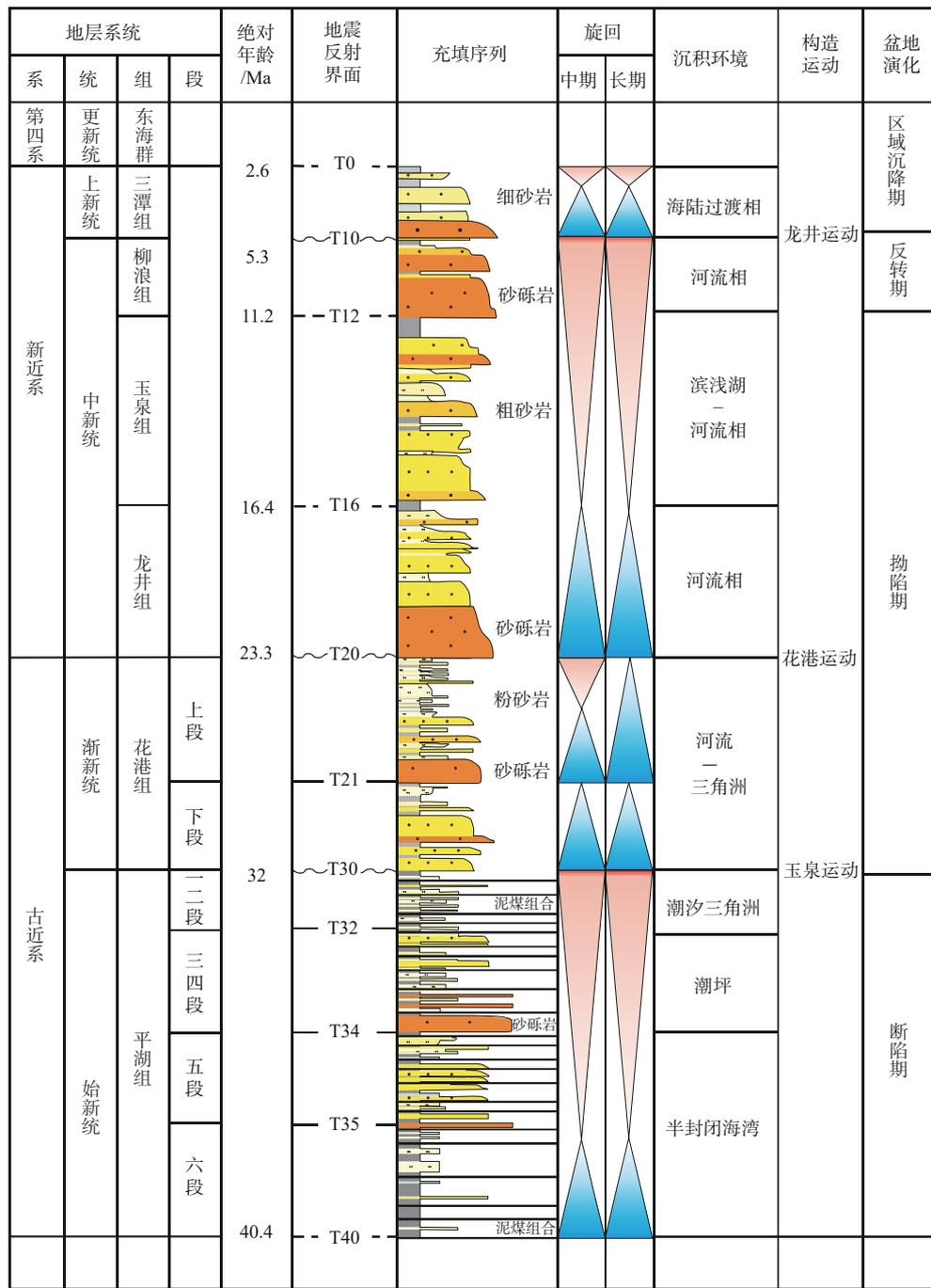


图 2 平湖油气田综合柱状图

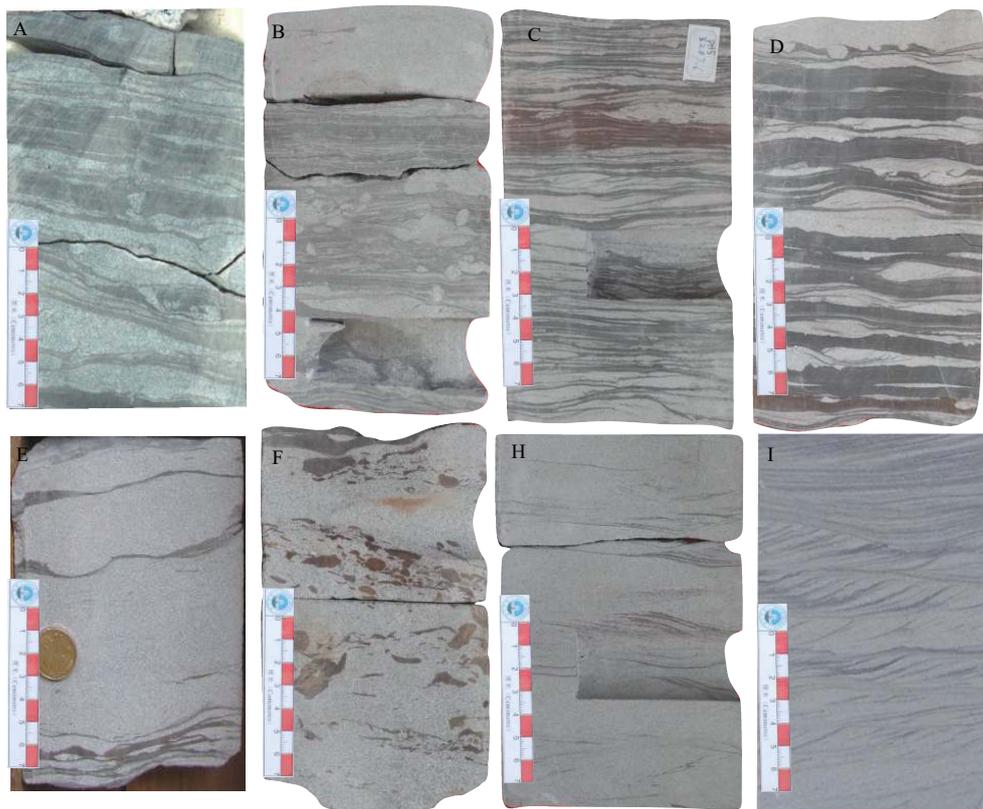
Fig.2 Integrated stratigraphic column of Pinghu Oil-Gas Field

井相研究中最重要内容,常分为钟形、箱形、漏斗形及由上述形状组合而成的复合形状。本次主要选取平湖油气田多口探井的自然伽马(GR)曲线。主要识别出箱型、钟型、漏斗型和复合型 4 种砂岩对应的曲线形态。

(1) 箱型 对应的岩性多为细砂岩,单层厚变化大,曲线幅度为高幅,顶底突变,略显齿化,一般为多期水道叠加,是物源相对充足时形成,为河道充填砂体或潮道砂体(图 4A)。

(2) 钟型 钟型测井曲线常见于分流河道、水下分流河道中,曲线呈现上窄下宽的钟型,底部突变,曲线齿化,从上到下,曲线的异常幅度逐渐增大。表明沉积期物源供给减少,沉积环境水动力减弱(图 4B)。

(3) 漏斗型 漏斗型或指状曲线中间幅度高,上下呈渐变式接触,岩性粒度一般为中间粗,上下较细的特征。一般发育于河口坝和河流决口扇微相(图 4C)。



(A)垂直生物钻孔,潮间带混合坪,X13井,4 795.9 m;(B)上部块状层理,中下部生物扰动构造,X5井,3 505.4 m;(C)潮汐韵律、脉状层理,X5井,3 287.6 m;(D)潮汐韵律层理,透镜状层理,顶部火焰状构造,X5井,3 290.5 m;(E)块状中细砂岩夹泥质条带,3 213.6 m,X6井;(F)细砂岩,发育撕裂状泥砾,X5井,3 291.7 m;(H)爬升沙纹层理,沙纹交错层理,X5井,3 286.65 m;(I)浅灰色粉细砂岩,沙纹层理,再作用面A1井,2 725.5 m

图3 平湖组岩芯典型沉积构造特征

Fig.3 Typical lithofacies in the study area

(4)复合型 多表现为箱型-钟型或漏斗型-箱型叠加,对应粉砂岩-细砂岩,曲线齿化,单层厚度不一,箱型-钟型代表水道砂体,漏斗型-箱型代表沙坪叠加水道砂体(图4C)。

2.3 沉积微相类型

通过岩芯沉积构造结合测井相分析,研究区平湖组主要发育潮控三角洲-潮坪沉积体系。研究区潮控三角洲以发育三角洲前缘为主,局部地区发育三角洲平原。同时,平湖组海侵时期煤层频繁发育,含煤系数约4%,常与炭质泥岩、暗色泥岩伴生。相对连续稳定发育的主煤层为海侵成因,常形成于浅覆水的水下分流河道-潮汐砂坝发育区,代表某个时间段内的最大海侵沉积产物。

潮控三角洲前缘亚相,经常受到潮汐双向水流作用的改造作用,伴生沉积构造类型多样,其中前缘水下分流河道具有强水动力条件与双向水流运动特征,通常在其底部会发育大量泥砾(图3E、F)、双向交错层理及双黏土层(图3H、I),测井相为整体反韵律的漏斗型-箱型砂体(图4D)。向外潮汐作

用变强,使得潮控三角洲前缘受到潮汐的强烈改造,以发育潮汐砂坝及潮汐水道为主(图5)。

潮控三角洲平原分流河道受潮汐影响较弱,分流河道砂体潮汐影响标志不清楚,垂向上具有粒度向上变细、层理规模向上变小的典型正韵律特征。一般层序底为冲刷面,冲刷面之上偶见泥砾沉积,常发育块状、板状交错、楔状交错、波状交错、爬升层理,向上由中、细粒度渐变为细、粉砂岩至纯泥岩,偶见二元结构。三角洲间湾物源匮乏区以潮坪沉积体系为主,主要发育朝上带泥坪、潮间带混合坪、潮汐水道,多形成脉状、波状及透镜状层理(图3C、D),生物遗迹化石较为常见(图3A、B)。

图5为X5海侵体系域P7砂组3 284~3 292 m取芯段岩芯,具有明显的三段特征:底部发育块状细砂岩,见泥砾、砾石,为潮汐影响的水下分流河道;中部为砂泥互层,发育潮汐韵律,为潮间带混合坪沉积;上部细砂岩发育沙纹层里、双黏土层,为潮汐水道沉积(图5)。测井相主要为齿化箱型、钟形,顶底为突变接触,潮汐水道地震相表现为“顶平底凸”的透镜状,潮汐砂坝为“底平顶凸”的丘状特征(图6)。

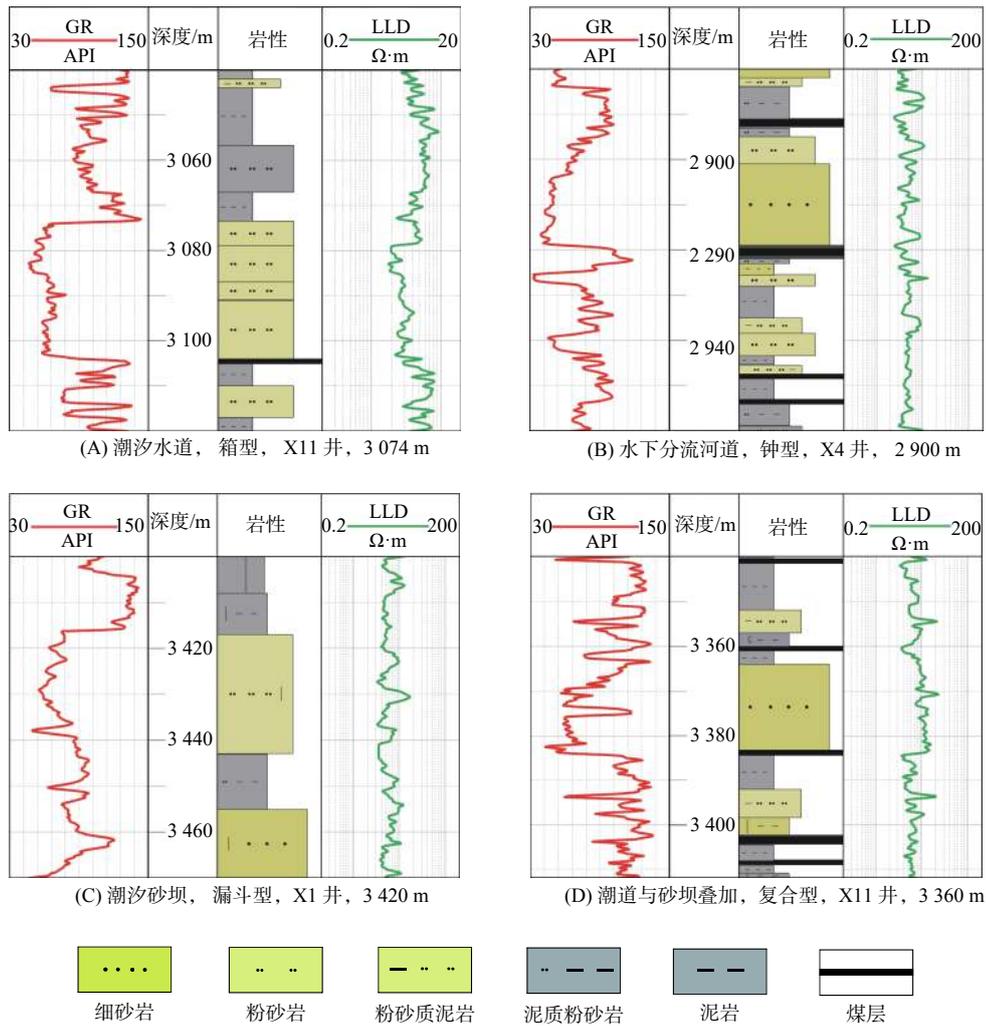


图 4 平湖地区平湖组海侵域潮控三角洲测井相

Fig.4 Logging facies of a tidal delta in transgressive domain of Pinghu Formation in Pinghu area

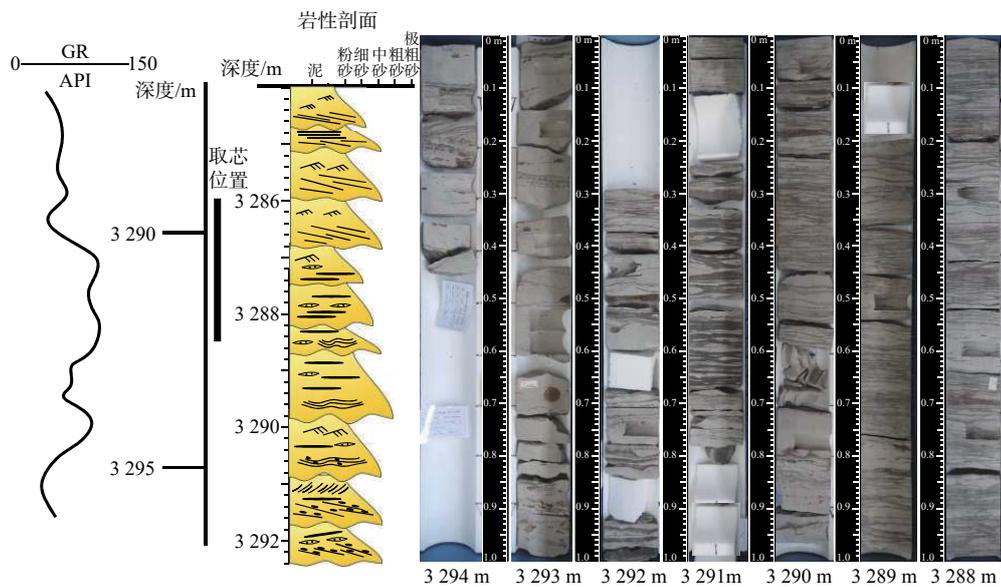


图 5 平湖地区平湖组 P7 层潮控三角洲砂体的岩性序列特征

Fig.5 Lithological sequence characteristics of the delta sand body affected by tides in P7 layer of Pinghu Formation in Pinghu area

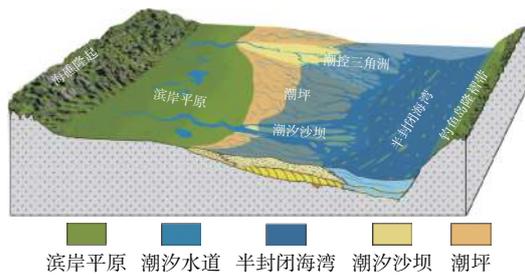


图 8 平湖地区平湖组海侵体系域沉积模式

Fig.8 Sedimentary model of the transgressive system tract of the Pinghu Formation in Pinghu area

沉积环境下的潮控三角洲-潮坪沉积;平湖地区主要发育潮控三角洲前缘亚相与潮间带,潮控三角洲发育于研究区西南部,西北部主要发育潮间带。研究区微相类型以潮汐沙坝与潮汐水道为主。

(2)P7 时期为平湖组一、二段的海侵期,潮汐作用强烈,海平面较高,三角洲砂体受潮汐强烈改造切割成沙坝,坝体之间为潮汐水道。潮控三角洲侧缘主要为潮间带下部与潮间带上部,潮汐水道发育。潮汐水道砂体发育双黏土层,平面上潮道向陆方向宽度变小,水动力变弱,分汊增多,沉积物粒度变细。预测三角洲前缘的潮汐砂坝与潮汐水道、潮控三角洲侧边的潮汐水道是利砂体的发育部位。

参考文献:

[1] 蔡华, 秦兰芝, 刘英辉. 西湖凹陷平北斜坡带海陆过渡相源-汇系统差异性及其耦合模式[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 881-897.

[2] 周心怀. 西湖凹陷地质认识创新与油气勘探领域突破[J]. 中国海上油气, 2020, 32(1): 1-12.

[3] 何玉平. 东海盆地西湖凹陷天台组始新世平湖组风暴岩的发现及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(3): 500-508.

[4] 周荔青, 江东辉, 张尚虎, 等. 东海西湖凹陷大中型油气田形成条件及勘探方向[J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 803-812.

[5] JIA H B, JI H C, LI X W, et al. A retreating fan-delta system in the northwestern Junggar Basin, Northwestern China: characteristics, evolution and controlling factors [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 123: 162-177.

[6] MUHAMMAD M S, JULIEN B. Seismic geomorphology and evolution of Early-Mid Miocene isolated carbonate build-ups in the Timor Sea, northwest shelf of Australia [J]. *Marine Geology*, 2016, 379: 224-245.

[7] ZENG H L. Seismic geomorphology-based facies classification [J]. *The Leading Edge*, 2004, 23(7): 644-688.

[8] ZENG H L, ZHU X M, ZHU R K, et al. Guidelines for seismic sedimentologic study in non-marine post rift basins [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(3): 275-284.

[9] 任建业, 胡祥云, 张俊霞. 中国大陆东部晚中生代构造活动及其演化过程[J]. 大地构造与成矿学, 1998, 22(2): 89-96.

[10] 李顺利, 许磊, 于兴河, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷渐新世海侵作用与潮控体系沉积特征[J]. *古地理学报*, 2018, 20(6): 1023-1032.

[11] 侯国伟, 李帅, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷西部斜坡带平湖组源-汇体系特征[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 29-38.

[12] 于兴河, 李顺利, 曹冰, 等. 西湖凹陷渐新世层序地层格架与沉积充填响应[J]. 沉积学报, 2017, 35(2): 299-314.

[13] 秦兰芝, 刘金水, 李帅, 等. 东海西湖凹陷中央反转带花港组锆石特征及物源指示意义[J]. *石油实验地质*, 2019, 39(4): 498-504.

[14] 张兰, 汪文基, 何贤科, 等. 东海西湖凹陷平湖组富煤环境相控储层预测技术[J]. 现代地质, 2019, 33(2): 337-344.

[15] 张兰, 李文俊, 常吟善, 等. 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[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 40(4): 30-39.

[16] 常吟善, 覃军, 赵洪, 等. 基于米氏旋回理论的高频层序识别与划分: 以东海陆架盆地平湖斜坡带宝云亭地区平三段为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 39(3): 51-60.

[17] 刘英辉, 黄导武, 段冬平, 等. 煤层等时格下中深层储层地震沉积学预测[J]. 沉积学报, 2018, 36(5): 957-968.

[18] 陆俊泽, 叶加仁, 黄胜兵, 等. 西湖凹陷平北地区烃源岩特征及生排烃史[J]. *海洋石油*, 2009, 29(4): 38-43.

[19] 许红, 张海洋, 张柏林, 等. 南黄海盆地26口钻井特征[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(4): 1-6.

[20] 谭思哲, 陈春峰, 徐振中, 等. 南黄海古生界烃源特征及资源潜力评估[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(3): 116-124.

[21] 王丽顺, 陈琳琳. 东海西湖凹陷下第三系层序地层学分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(3): 35-42.

[22] 冯晓杰. 东海陆架盆地中生代构造演化特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(1): 33-37.

[23] 武法东. 东海陆架盆地西湖凹陷第三系层序地层与沉积体系分析[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 20-41.

[24] 陈琳琳. 东海西湖凹陷平湖组沉积环境演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(4): 69-78.

[25] ANDREW D M, CHARLENE E M. Sequence stratigraphy as a scientific enterprise: the evolution and persistence of conflicting paradigms [J]. *Earth-Science Reviews*, 2001, 54: 321-348.

[26] OCTAVIAN C. Principles of Sequence Stratigraphy [M]. Amsterdam: Elsevier, 2006: 35-54.

[27] 刘晓晖, 涂齐催, 姜雨, 等. 双宽地震资料在西湖凹陷R气田裂缝预测中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(8): 57-64.

[28] 刘亚茹, 高顺莉, 周平, 等. 西湖凹陷转换断裂发育特征及其油气地质意义[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(10): 42-49.

The sedimentary characteristics of tidal delta and tidal flat in transgressive system tract of Pinghu Formation in Pinghu area, Xihu Sag

LIU Yinghui¹, CAI Hua², DUAN Dongping¹, RONG Chengrui¹, CHANG Yinshan¹, XU Qinghai³

(1 Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China; 2 CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China;

3 School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: The Pinghu Formation of Eocene in the Pinghu area of Xihu Sag is a set of transitional deposits consisting of alternative marine and non-marine depositional systems, which are characterized by thinly interbedded sand, mud and coal seams of deltaic-tidal transitional facies. Due to the complexity of sedimentary structures and the diversity of sedimentary microfacies, it has remained controversial among scholars about their origin and depositional systems. The uncertainty of sedimentary system restricted oil and gas exploration and development. Based on the core, logging and other analysis data from the Pinghu Formation, this paper defined the typical facies types and described their sedimentary characteristics for the P7 layer formed in the transgressive domain in the first and second stages of Pinghu Period. By means of seismic sedimentology, typical tidal delta is recognized and the depositional characteristics of tidal delta in the transgressive summarized. The sandbodies of tide-dominated delta are strongly reformed by tide. There develop such typical sedimentary structures as double clay layers, reaction surface, rhythmic bedding and tidal bundles. The tide dominated delta is mainly composed of the sub-facies of inner and outer deltaic fronts, with deltaic plain locally. During the transgression period, the sea level rose rapidly, the delta front was strongly reworked by tide, and as the result, the sand bodies dominated by tidal bars and tidal channels were formed. It is believed that the establishment of tide-dominated deltaic sedimentary model in this paper may provided a clue and guideline for further exploration and development of oil and gas in the Pinghu Formation of the Xihu Sag.

Key words: tide dominated delta; tide flat; depositional model; transgressive system tract; Pinghu Formation; Xihu Sag