

引用格式: 阴国锋, 赵勇. 东海陆架盆地西湖凹陷障壁滨岸沉积体系及特征: 以平北地区平湖组早期为例[J]. 油气藏评价与开发, 2026, 16(1): 186-197.

YIN Guofeng, ZHAO Yong. Barrier coastal depositional system and its characteristics in Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin: A case study of lower Pinghu Formation in Pingbei area[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2026, 16(1): 186-197.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2024525

东海陆架盆地西湖凹陷障壁滨岸沉积体系及特征

——以平北地区平湖组早期为例

阴国锋, 赵勇

(中国石化上海海洋油气分公司, 上海 200120)

摘要: 西湖凹陷是东海陆架盆地中极具油气勘探价值的富烃凹陷, 其始新统平湖组在近年来的勘探工作中持续取得突破, 已成为油气勘探开发的重要层位。由于以往研究多基于宏观区域开展且资料分散, 致使学术界对平湖组沉积体系的认识存在诸多争议, 严重影响后续勘探开发的精准度与效率。研究以西湖凹陷平北地区平湖组早期沉积为切入点, 综合运用岩心、测录井、地震等多种资料, 深入开展了沉积体系研究, 旨在明晰其沉积特征并建立沉积模式。经研究, 平湖组下段可划分为层序一、层序二共2个三级层序, 二者均展现出显著的潮汐沉积特征, 标志性沉积构造包括双向交错层理、再作用面、双黏土层以及脉状—波状—透镜状潮汐复合层理等。其中, 层序一时期, 研究区呈现典型的障壁滨岸沉积环境。北东—南西走向的障壁砂坝将区域一分为二, 西侧形成潟湖—潮坪体系, 发育潮道、三角洲前缘等沉积微相; 东侧为开阔滨岸体系, 发育与障壁岛平行的条带状沿岸砂坝。而在层序二时期, 受区域海侵作用的影响, 障壁岛—潟湖体系发育受到抑制, 沉积环境转变为潮汐主导的开阔潮坪沉积, 完整发育砂坪—混合坪—泥坪沉积序列。受潮汐作用影响, 潮间带—潮下带发育北西—南东向潮道, 潮下带也发育潮汐砂坝和砂坪。进一步通过对砂体类型、形态、展布规律的详细剖析, 并结合沉积环境与经典沉积模式, 建立了障壁滨岸—潮坪复合沉积模式。模式的建立不仅为理解西湖凹陷沉积演化过程提供了依据, 而且对指导西湖凹陷自斜坡带至凹陷区的油气勘探开发具有指导意义。

关键词: 西湖凹陷; 平湖组; 潮坪; 障壁岛; 沉积模式

中图分类号: TE121

文献标识码: A

Barrier coastal depositional system and its characteristics in Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin: A case study of lower Pinghu Formation in Pingbei area

YIN Guofeng, ZHAO Yong

(Sinopec Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China)

Abstract: The Xihu Sag is a hydrocarbon-rich sag with high oil and gas exploration value in East China Sea Shelf Basin. In recent years, continuous breakthroughs have been achieved in the exploration efforts of the Eocene Pinghu Formation of Xihu Sag, making it an important target for oil and gas exploration and development. However, previous studies were mostly carried out on a macroscopic regional scale with scattered data, resulting in many controversies in the academic community regarding the depositional system of the Pinghu Formation, which seriously affects the accuracy and efficiency of subsequent exploration and development. Focusing on the early deposition of the Pinghu Formation in the Pingbei area of Xihu Sag, this study comprehensively utilized data including core, well logging, and seismic data to conduct an in-depth investigation of the depositional system, aiming to clarify depositional characteristics and establish a depositional model. This study divided the lower Pinghu Formation into two third-order sequences: Sequence 1 (SQ1) and Sequence 2 (SQ2). Both exhibited significant tidal depositional characteristics, with diagnostic depositional structures including bidirectional cross-bedding, reactivation surfaces, double mud layers, and flaser-wavy-lenticular tidal composite bedding. During the SQ1 period, the study area exhibited a typical barrier coastal depositional environment. The NE-SW-trending barrier sand bars divided the area into two parts. A lagoon-tidal flat system was formed on the west side, where depositional microfacies such as tidal channels and delta fronts developed. On the east side, there was an open coastal system, where strip-shaped longshore sand bars developed parallel to the barrier island. During the SQ2 period, affected by regional transgression, the development of the barrier island-lagoon system was suppressed, and the depositional environment transformed to a tide-dominated open tidal flat, completely developing depositional sequence of sand flat-mixed flat-mud flat. Affected by tidal action, NW-SE trending tidal channels developed in the intertidal and subtidal zones, and tidal sand bars and sand flats also developed in the subtidal zone. Furthermore, through a detailed analysis of sand body types,

收稿日期: 2024-11-11。

第一作者简介: 阴国锋(1981—), 男, 博士, 高级工程师, 从事油气藏开发地质研究。地址: 上海市浦东新区锦康路50弄中国石化上海浦东研发中心, 邮政编码: 200120。E-mail: yinguofeng.shhy@sinopec.com

shapes, and distribution patterns, combined with the depositional environment and classic depositional models, a barrier coastal-tidal flat composite depositional model was established. The establishment of this model not only provides a basis for understanding the depositional evolution process of the Xihu Sag, but also offers guidance for oil and gas exploration and development from the slope zone to the sag area in Xihu Sag.

Keywords: Xihu Sag; Pinghu Formation; tidal flat; barrier island; depositional model

西湖凹陷是东海陆架盆地内已知的油气资源最富集的凹陷,近年来在古近系平湖组勘探开发中持续取得突破,准确认识该层位的沉积体系是后续勘探开发的关键。自西湖凹陷勘探以来,大量学者对平湖组的沉积环境做了研究,研究结果显示了该沉积时期沉积环境复杂多样的特点^[1-3]。目前,对平湖组沉积环境的认识尚未统一。例如,赵洪等^[4]结合粒度分析和测录井数据认为平湖组早期为海陆过渡体系,并识别出了潮控三角洲、潮坪和海湾等沉积相类型;蒋海军等^[5]通过微古生物化石认为平湖组早期为海相沉积;杨彩虹等^[6]通过对层序的划分结合测井相与地震相认为平湖组沉积相类型更接近于浅水环境下的辫状河三角洲;胡明毅等^[7]在岩心和铸体薄片观察的基础上,认为平湖组主要发育三角洲平原亚相;王泽宇等^[8]综合利用岩心与测井资料在对现代沉积考察的基础上认为平湖组主要是潮控三角洲—潮坪沉积体系。

存在上述不同认识的重要原因是受研究资料的限制,现有的研究多是对平湖组整体或相对较大区域上的宏观研究,横向、纵向的资料数据相对分散,不同地区的资料反映信息差异较大。近年来,随着勘探开发的深入

以及资料和数据的积累,使通过精细刻画小区带沉积相从而进一步准确地认识大区域的沉积特征成为可能。在前人研究的基础上,结合钻井岩心、测井资料、地震属性对西湖凹陷平北地区平湖组早期的沉积相类型进行再认识,明确平北地区在该时期沉积相类型的主要控制因素,进一步建立平北地区的沉积模式,为西湖凹陷自斜坡带至凹陷区的进一步勘探开发提供可靠的证据。

1 地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部,是盆地内面积最大的沉积凹陷^[1],具有“东西分带、南北分块”的特征。整体上西湖凹陷呈北北东—南南西向展布,是狭长型的沉积凹陷,南北长约440 km,东西宽约110 km,总面积近 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$,东邻钓鱼岛隆褶带,西与渔山隆起和海礁隆起相接,南与钓北凹陷相连。西湖凹陷从西到东可划分为西部斜坡带、中央反转构造带和东部断阶带3个一级构造带,其中西部斜坡带自北向南可进一步划分为杭州斜坡带、平湖斜坡带和天台斜坡带3个次级构造单元^[9]。本次研究区位于平湖斜坡带北部的武云亭与宝云亭地区(图1)。

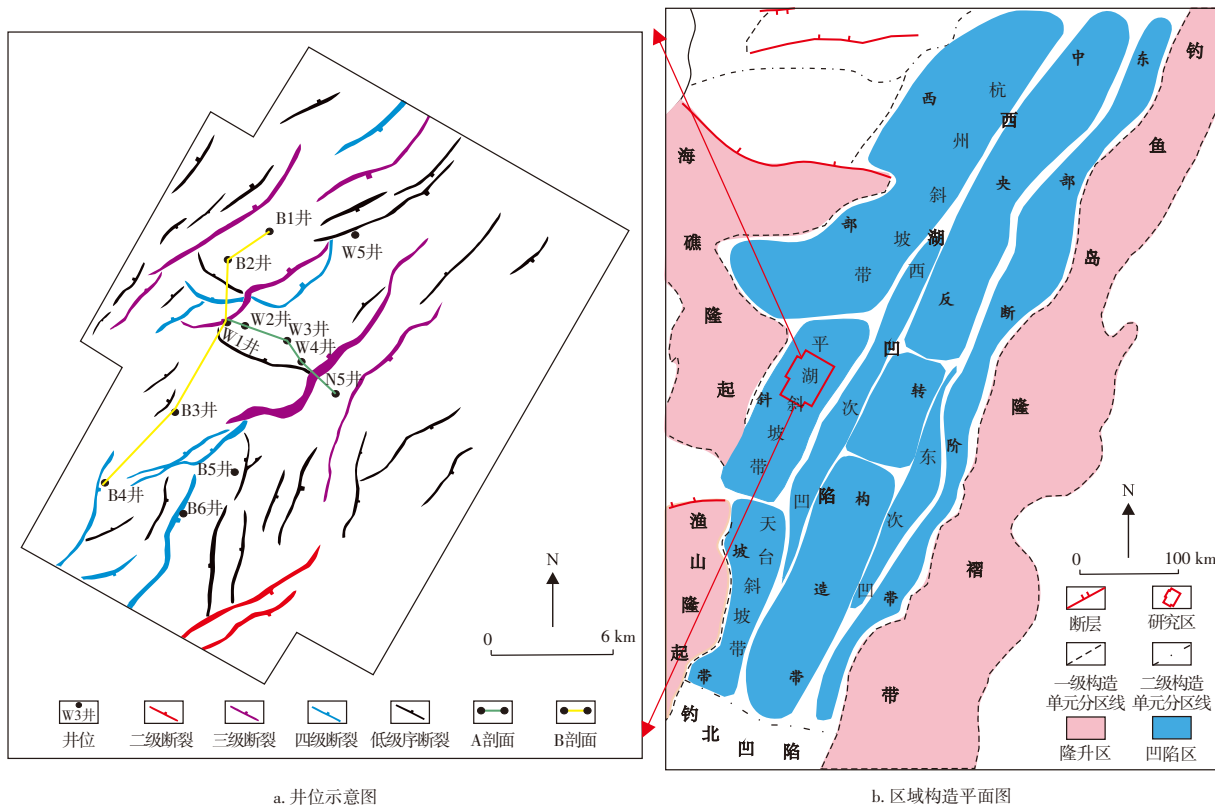


图1 东海陆架盆地西湖凹陷井位示意图及区域构造平面图(据文献[4]修改)

Fig. 1 Well location map of study area and structural map of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin (modified from reference[4])

研究区内断裂发育,以东北—北北东向正断层为主,北西向次级断裂为辅,总体上呈现自南西向北东发散的帚状特征(图1)。古近纪西湖凹陷主要经历了5次较为重要的构造运动,即雁荡运动、瓯江运动、平湖运动、玉泉运动和花港运动(图2)。雁荡运动和瓯江运动在盆地内形成微角度不整合或平行不整合(即 T_8^0 和 T_5^0 地震反射界面),局部为角度不整合,可能是幕式裂隙作用的产物。平湖运动使盆地内构造应力的伸展方向发生改变,由北北西—南南东改变为北西—南东,形成北东东—南西西、北东—南西两组断裂,盆地由断陷期向拗陷期开始发生转变^[10]。玉泉运动在盆地及周缘地区形成规模较大的破裂不整合面(T_3^0)以及大量的褶皱隆升构造。花港运动在盆地内形成1个区域性的角度不整合面(T_2^0),并造成普遍的地层缺失^[11]。

西湖凹陷内沉积地层厚度约9.0~1.5 km。古近系作为西湖凹陷重要的地层单元,既是烃源岩主要发育层位,又是油气主要富集层位^[12-13]。平北地区自下而上发育始新统八角亭组、宝石组、平湖组,渐新统花港组。其中,平湖组沉积时期盆地处于断—拗转换期,地层年龄介于43~32 Ma(图2)。

结合西湖凹陷区域构造演化特征以及测井上的岩性组合差异,在古近系地震反射剖面中识别出 T_3^0 、 T_4^0 共2个二级层序边界,代表花港组、平湖组与宝石组的分界,并在平湖组内部识别出 T_3^2 、 T_3^3 、 T_3^4 共3个三级层序边界。此次研究目的层位于 T_4^0 与 T_3^3 之间,对应于平湖组早期沉积。其中,再以 T_3^4 为层序边界,进一步将平湖组早期沉积分为层序一、层序二共2个三级层序(图2)。

2 沉积相标志

2.1 障壁岛

障壁岛是滨岸沉积环境中一列或多列平行于岸线的狭长岛屿,高于水面且能够阻碍广海与潟湖之间的水体沟通。现代沉积中的障壁岛常形成于低能的滨岸环境中^[14],但是在某些特殊的地形条件下,如滨岸带发育水下的基岩隆起,虽然属于高能的波浪环境,但也可以为障壁岛的发育创造有利条件^[15]。这是由于隆起的基岩为波浪提供了不易侵蚀的水下台地,水动力减弱,沉积物卸载,逐渐发展成为高能型障壁岛。研究区南部的宝云亭凸起为高能型障壁岛的发育提供了良好的基岩地形条件。

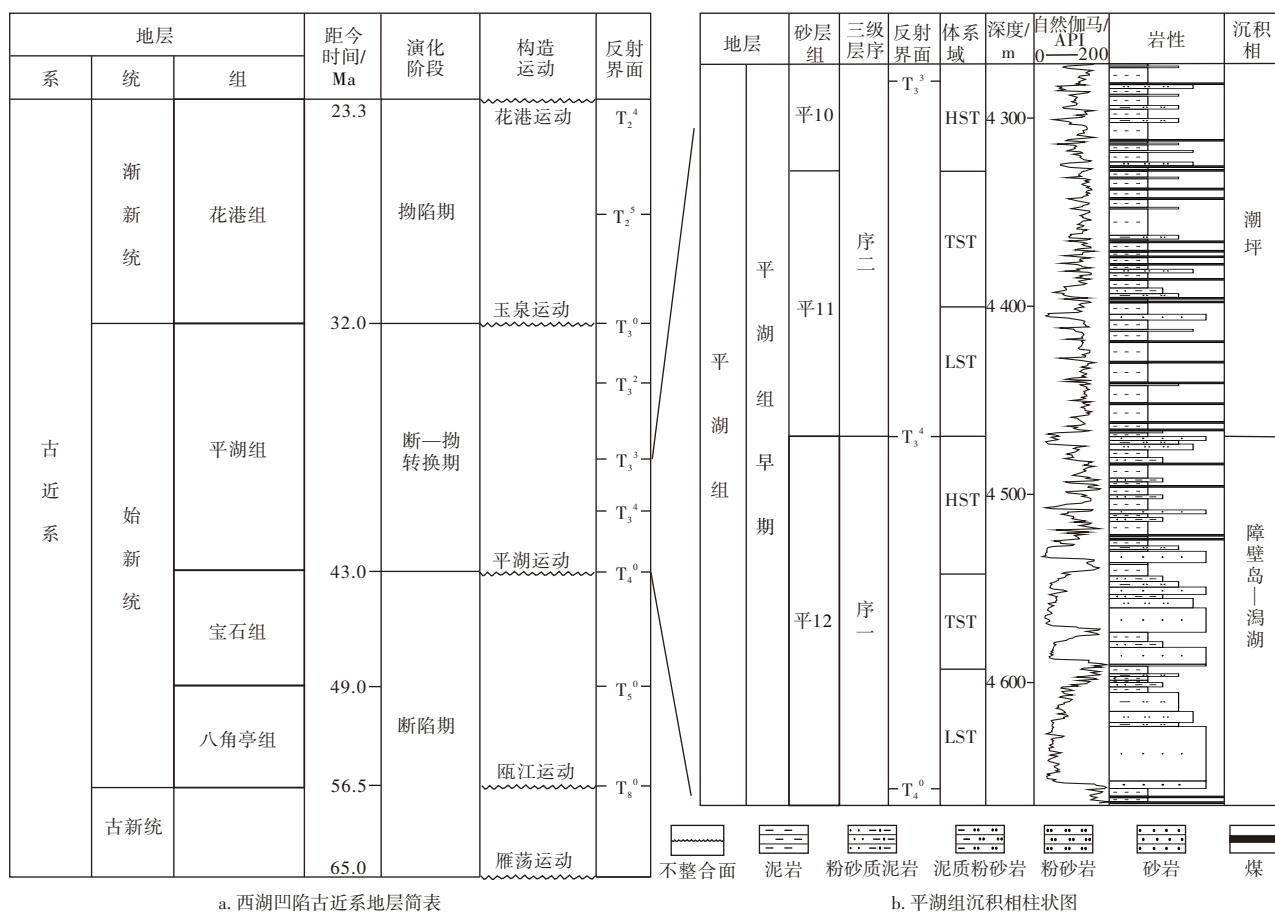
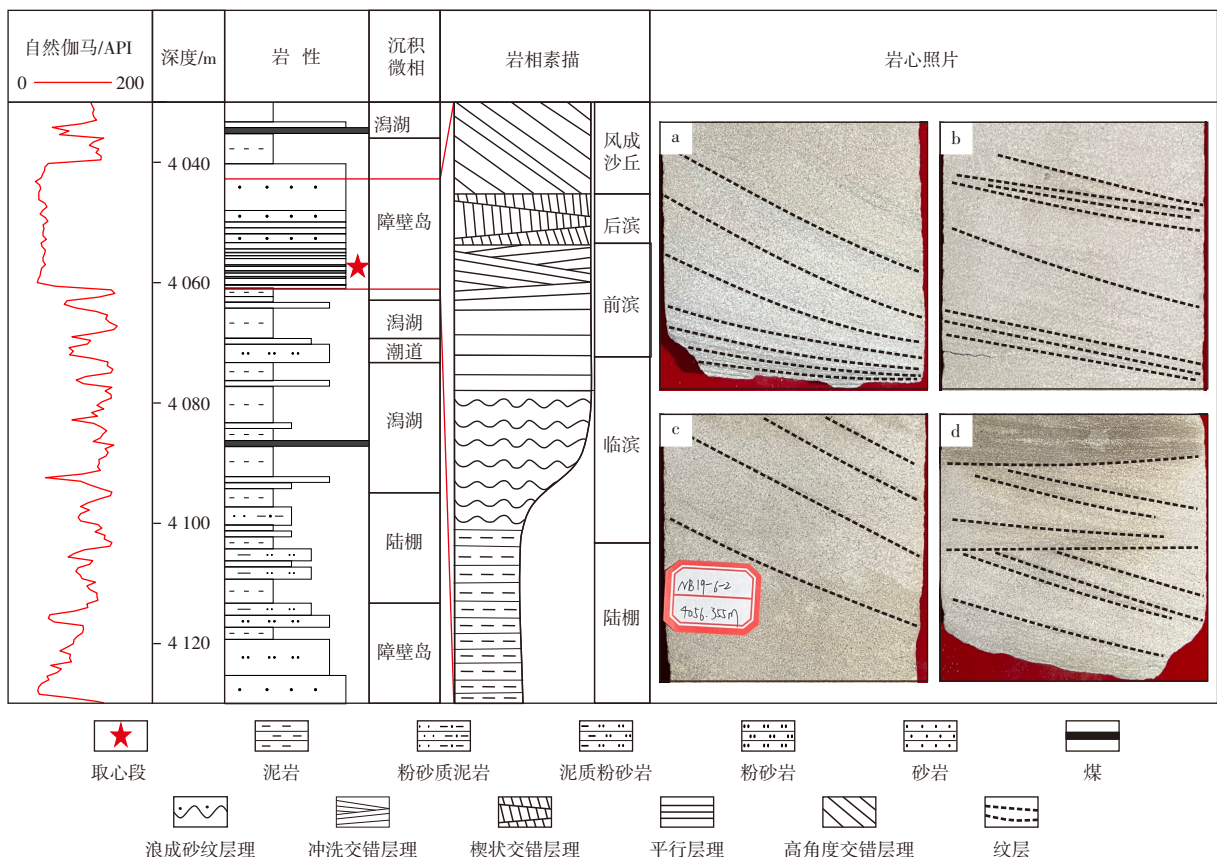


图2 东海陆架盆地西湖凹陷古近系地层简表及平湖组综合地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic table of Paleogene and comprehensive stratigraphic column of Pinghu Formation in Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

研究认为,在**高能环境**下受波浪作用形成的障壁岛,在岩相序列上与滨岸序列接近。研究区障壁岛的岩心多表现为以含泥的细砂岩为底,向上递变为纯净的细—中砂岩,整体呈反粒序,常见冲洗交错层理、平行层理、槽状交错层理、高角度交错层理,其中,纹层倾角可超过 40° 高角度交错层理,是风成沉积的特点,测井上自然伽马曲线表现为齿化箱型(图3a—图3d)。在相序组合上,岩心相表现出临滨—前滨—后滨的组合。其中,单个完整的相序厚度介于 $2\sim 8\text{ m}$,最厚不超过 10 m ,但多期组合可形

成厚度达 70 m 的障壁岛砂体。根据岩心资料,进一步建立了障壁岛的理想相序:自下而上发育深灰色泥岩,其中偶见水平层理,对应陆棚,少见波浪作用特征;向上砂质含量增高,过渡为泥质纹层交错层理细砂岩至块状中—细砂岩,对应下临滨;向上递变为水动力明显增强的浪成砂纹层理和交错层理砂岩,对应上临滨;进一步递变为强水动力条件的平行层理砂岩、冲洗交错层理砂岩,对应前滨;顶部可发育风成高角度交错层理砂岩,对应后滨的海岸沙丘(图3)。



注:a为W2井,深度 $4\ 055.81\text{ m}$,槽状交错层理,反粒序;b为W2井,深度 $4\ 060.7\text{ m}$,冲洗交错层理;c为W2井,深度 $4\ 056.35\text{ m}$,高角度交错层理;d为W2井,深度 $4\ 059.9\text{ m}$,板状-楔状交错层理。

图3 东海陆架盆地西湖凹陷平北地区障壁岛沉积相特征

Fig. 3 Depositional facies characteristics of barrier islands in Pingbei area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

2.2 潮坪

在障壁岛发育的背景下,潮汐作用通常显著。研究区在层序2时期发育典型的潮坪沉积,并可以识别出典型的砂坪、混合坪、泥坪,分别对应潮下带、潮间带和潮上带沉积。在测录井资料中,三者组合成典型的钟型。

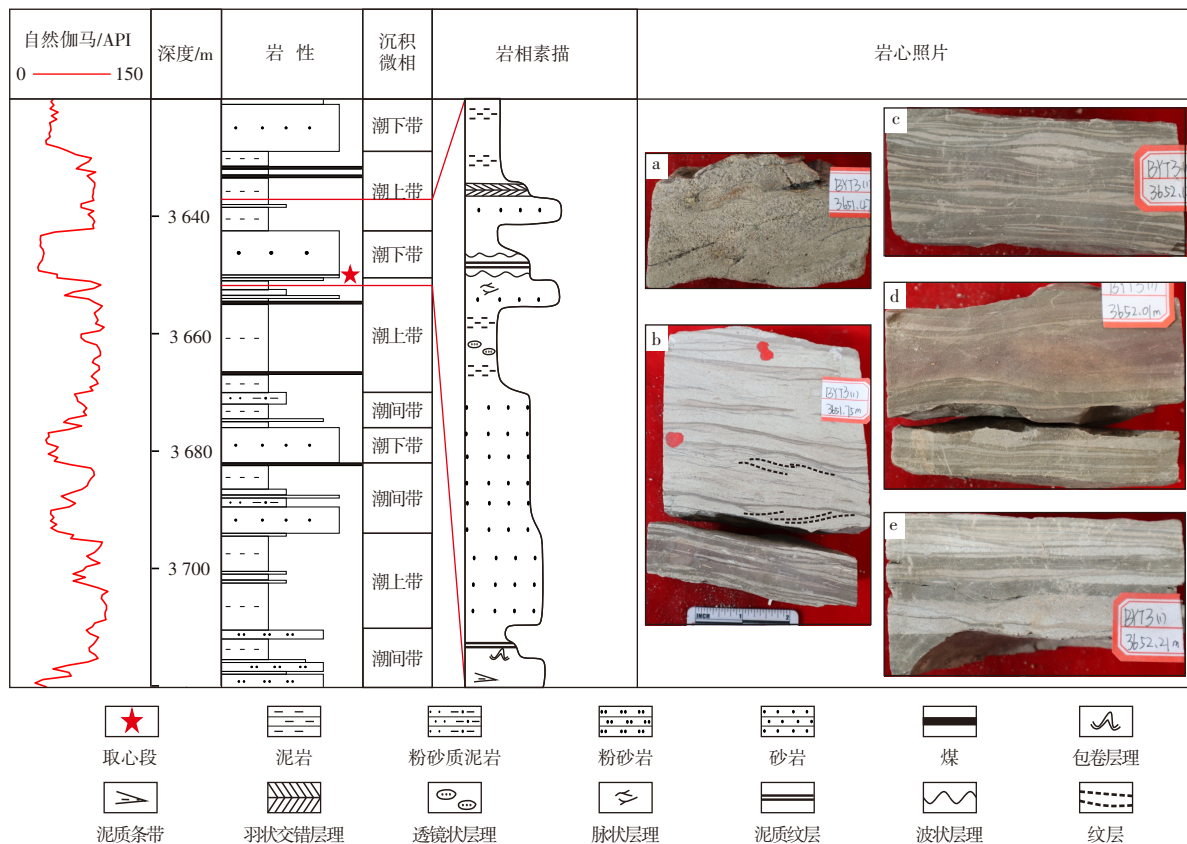
2.2.1 砂坪

低潮线附近及以下区域是水体能量较强的高能沉积环境,称为潮下带,主要发育以砂质沉积为主的砂坪^[16]。岩性表现为较纯净的块状细砂—中砂岩,发育双向交错

层理及再作用面、脉状层理、双黏土层构造(图4b)。潮下带砂坪在测井上的自然伽马曲线总体表现为中—低幅小规模箱型特征,有时可以构成钟型测井相的基座(图4)。

2.2.2 混合坪

位于低潮线和高潮线之间的是潮坪沉积中的过渡带,水体能量中等,水体深度变化频繁,称为潮间带^[17],主要发育砂泥混合质沉积的混合坪^[18]。研究区内的混合坪主要表现为细砂岩与粉砂岩、泥岩交互混合沉积。岩心上可观察到脉状层理、波状层理和透镜状层理,局部可见



注: a 为 B5 井, 深度 3 651.47 m, 脉状层理; b 为 B5 井, 深度 3 651.75 m, 双向交错层理, 脉状层理, 再作用面; c 为 B5 井, 深度 3 652.01 m, 透镜状层理; d 为 B5 井, 深度 3 652.01 m, 透镜状层理, 见红色泥岩; e 为 B5 井, 深度 3 652.21 m, 透镜状层理、波状层理。

图 4 东海陆架盆地西湖凹陷平北地区潮坪沉积相特征

Fig. 4 Depositional facies characteristics of tidal flats in Pingbei area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

双黏土层构造和双向交错层理(图 4c), 偶见红色泥岩, 表现为浅水的氧化沉积环境。测井上自然伽马曲线表现为中—低幅指型(图 4)。

2.2.3 泥坪

在高潮线附近及以上的相带为潮坪中的低能沉积环境, 大部分时间处于暴露环境, 称为潮上带, 主要发育泥质沉积为主的泥坪。研究区泥坪整体上以浅灰色泥岩为主, 常见红色泥岩层或红色泥砾, 指示氧化环境, 发育水平层理, 富含植物碎屑, 见结核, 生物扰动作用强烈。局部发育红色泥岩, 亦可见局部闭塞环境形成的薄煤层(图 4d)。测井上表现为自然伽马曲线高值, 呈锯齿型特征, 靠近泥岩基线。

2.3 潮道

研究区识别出的潮道区别于广义上连接外海与潟湖的通道, 是指发育在潮坪中的由潮汐水流往复冲刷所形成的冲沟, 常与煤层伴生, 多出现在潮下带和潮间带^[8, 19]。潮道属于高能沉积环境, 与河道相似, 其底部为滞留沉积, 由砾石等粗粒沉积物组成。潮道的主体部分常见槽状交错层理和羽状交错层理或双向交错层理, 反映其水

流方向的往返变化(图 5)。在研究区潮道沉积的岩性表现为中—粗砂岩, 见砾石, 底面一般突变接触或具有冲刷面, 整体表现为正粒序(图 5a)。单期砂体厚度介于 2~5 m, 多期潮道叠置最厚可达 30 m。标志性沉积构造为双向交错层理, 也可见板状交错层理。潮道沉积在测井上自然伽马曲线表现为钟型或顶、底突变的箱型。

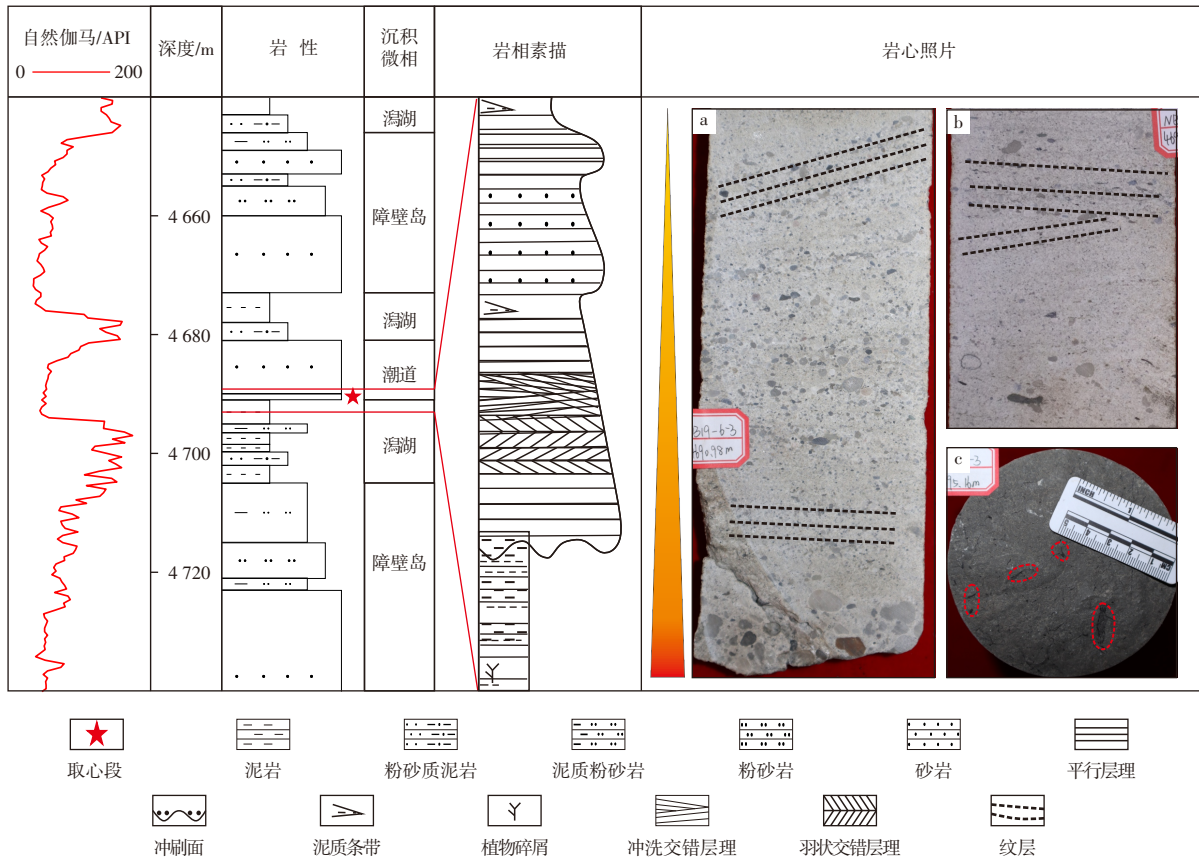
2.4 潟湖

受障壁岛的阻隔, 障壁岛向陆一侧的局限水体为潟湖。潟湖多为闭塞的环境, 常发生沼泽化。研究区的潟湖沉积在岩心上表现为暗色泥岩, 富含植物碎屑, 可见生物扰动现象, 发育薄煤层(图 5c)。在测井上表现为自然伽马曲线的高值, 靠近泥岩基线。

3 沉积相空间分布特征

3.1 沉积相剖面展布特征

优选平面横向(东西向)和纵向(南北向)上平均分布的 2 条连井剖面(图 6 和图 7, 剖面位置见图 1), 对研究区进行沉积相分析并探究了砂体展布规律。



注:a为W5井,4 690.98 m,潮道底部冲刷面,见滞留沉积,向上可见砾石构成冲洗交错层理; b为W5井,4 690.65 m,可见双向水流作用下的交错层理; c为W5井,4 695.16 m,暗色泥岩,见植物碎屑(红圈内)。

图5 东海陆架盆地西湖凹陷平北地区潮道、潟湖沉积相特征

Fig. 5 Depositional facies characteristics of tidal channels and lagoons in Pingbei area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

图6是位于研究区中部东西向的连井剖面,从图6可以看出,整体地层具有西薄东厚的特征。平湖组早期层序一时期主要发育障壁岛,其中,剖面中部W2、W2、W3井砂体沉积厚度大,测井曲线呈多期次叠加的箱型,平均砂体厚度约为30 m, W2井岩心上可见冲洗交错层理、板状、槽状层理、高角度交错层理,且由多期次反粒序叠加而成,构成障壁砂坝的特征。西部砂体厚度最小,发育厚层泥岩,且发育薄煤层属于潟湖相。障壁砂坝向东为开阔滨岸,砂体厚度变薄,为沿岸砂坝砂体。层序二时期,研究区整体为潮坪沉积体系,砂体较层序一时期减少,泥岩含量明显增加。其中, W2、W3井发育潮间带薄层砂体, W3井发育厚层潮下带砂坪,局部可见双黏土层构造和双向交错层理,东部为潮汐砂坝。由西向东依次为潮上带泥坪、潮间带潮道或砂坪、潮下带潮汐砂坝。

图7是位于研究区西部的北东—南西向连井剖面。层序一时期研究区中部W1井底部可见多期回旋叠加的齿状箱型厚砂岩,为障壁岛,向上以泥岩为主,发育薄煤层和薄层砂岩,整体上以潟湖为背景,其中,根据岩心资料,薄层砂岩发育表现为以冲刷面为底的正粒序,冲刷面发育滞留沉积,主体部分可见双向交错层理,反映潮汐

双向水流。该剖面西侧B1、B2井发育约40 m“箱型”厚砂岩,发育于薄煤层频繁发育的暗色泥岩或灰绿色泥岩中,解释为发育于潟湖内的三角洲前缘水下分流河道。与图6所示的剖面类似,该剖面层序二时期整体也以泥岩为主,厚层砂体较少,多为韵律性薄层砂体。在该时期,研究区受到海侵作用的影响^[20],三角洲与障壁岛的发育受到抑制,研究区以潮坪环境为主体。南北两侧以潮上带泥岩为主,中部发育薄层厚度为3~5 m的韵律性混合坪砂体。

3.2 沉积相平面展布特征

结合地震反演属性图平面特征,绘制平北地区平湖组早期不同层序沉积相平面展布图,进一步分析平湖组早期不同层序平面沉积相展布特征。

层序一时期,沉积整体为障壁岛滨岸体系(图8)。根据地震属性,沉积体走向呈现南南西—北北东向展布特征(图8b)。研究区中部显示出南南西—北北东向的条带状砂体,是图6、图7剖面限制的障壁岛。障壁岛靠陆一侧,砂体信号稀疏,为潟湖。潟湖西侧边缘发育砂体,为海礁隆起供源的三角洲,三角洲前缘延伸至潟湖水

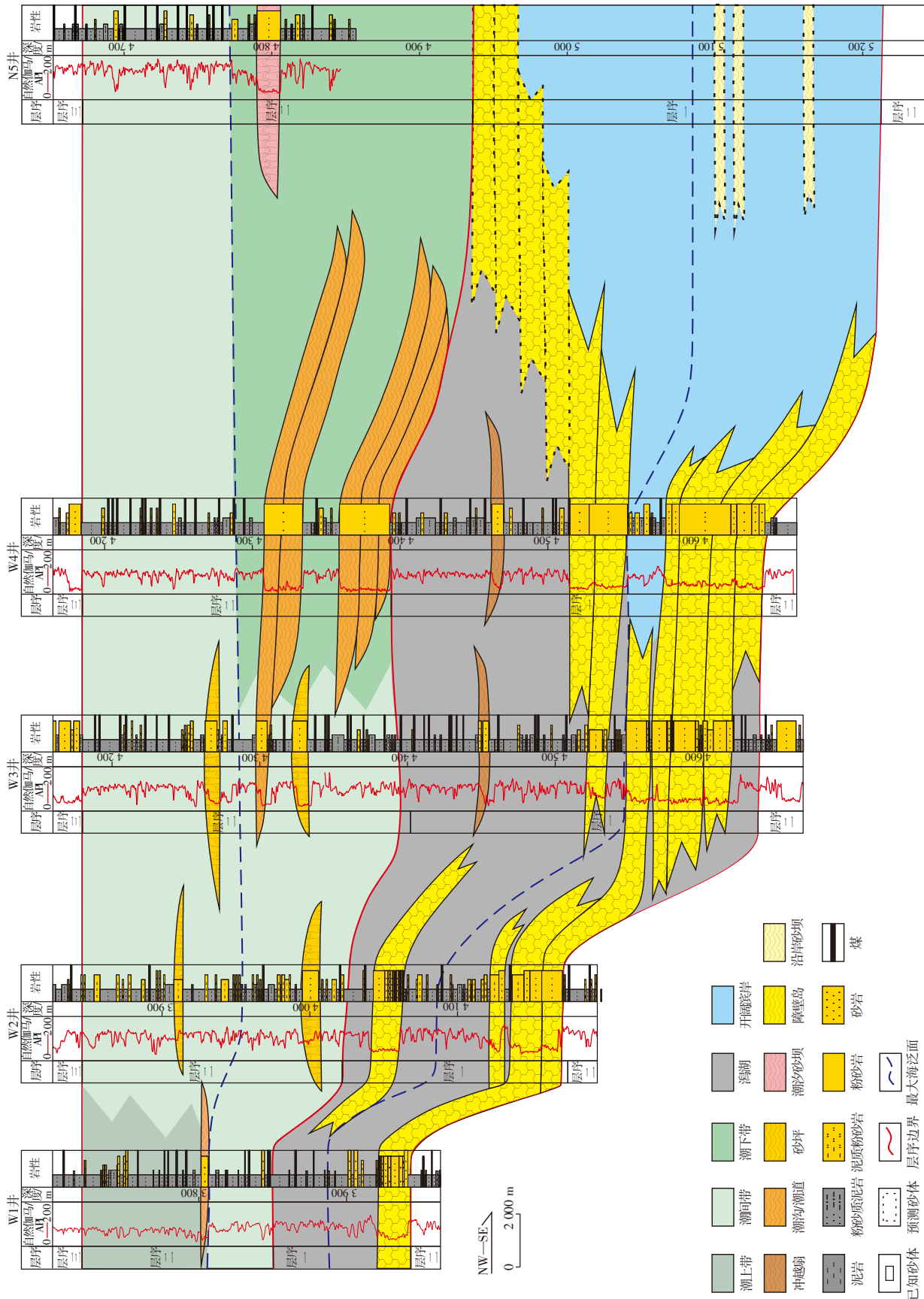


图6 东海陆架盆地西湖凹陷平北地区平湖组早期东西向连井沉积相图
注:剖面A,顺物源方向,剖面位置见图1。
Fig. 6 Connected-well depositional facies map in east-west direction of Pinghu Formation in Pingbei area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

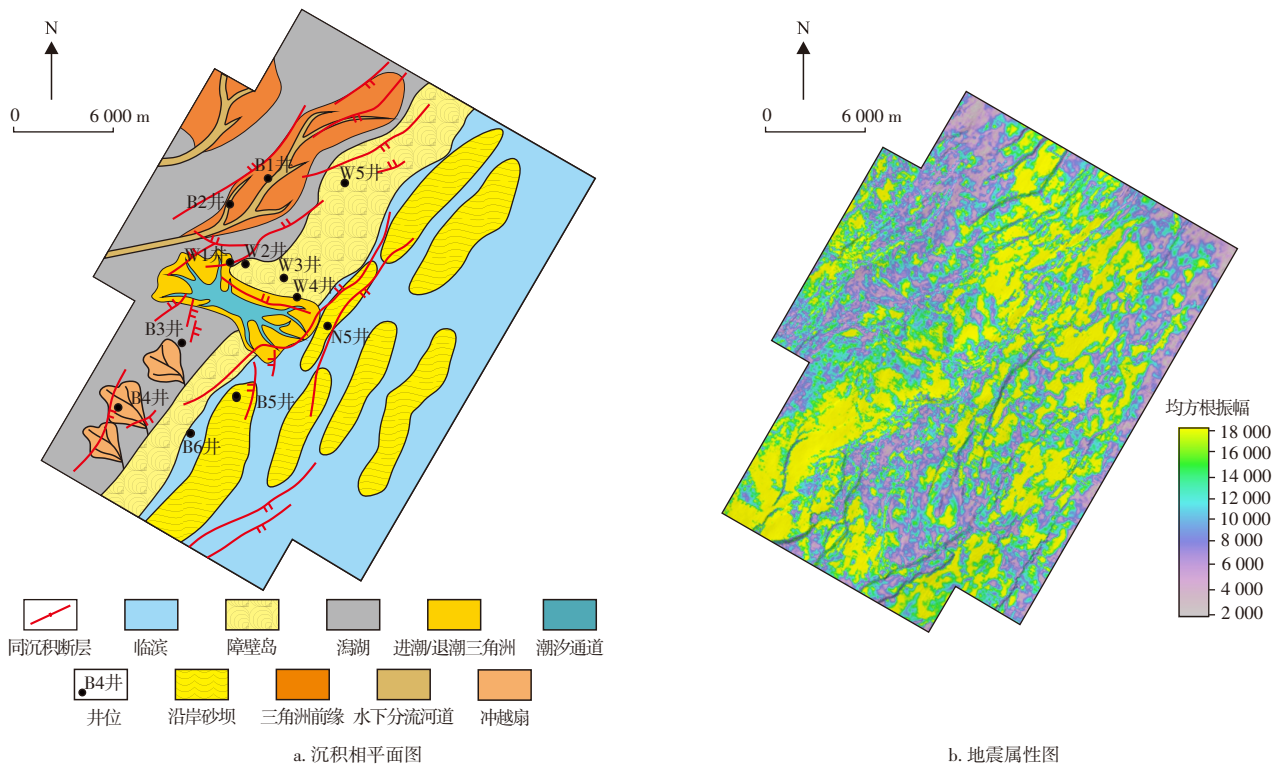


图8 东海陆架盆地西湖凹陷平北地区平湖组层序一时期沉积相平面展布特征

Fig. 8 Planar distribution characteristics of depositional facies during SQ 1 of Pinghu Formation in Pingbei area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

下,发育水下分流河道砂体。障壁岛在W1井—N5井连井方向南侧有断续的现象,将其解释为潮汐通道,潮汐通道的两侧分别形成进潮、退潮三角洲。研究区东部也见北北东—南南西方向的条带状砂体,将其解释为开阔滨

岸背景下的临滨沿岸砂坝。

层序二沉积时期砂体发育相对减少(图9)。根据地震属性,该时期砂体的优势发育方向仍然为南南西—北北东向(图9b),但砂体的发育方向表现出近南北向斜列

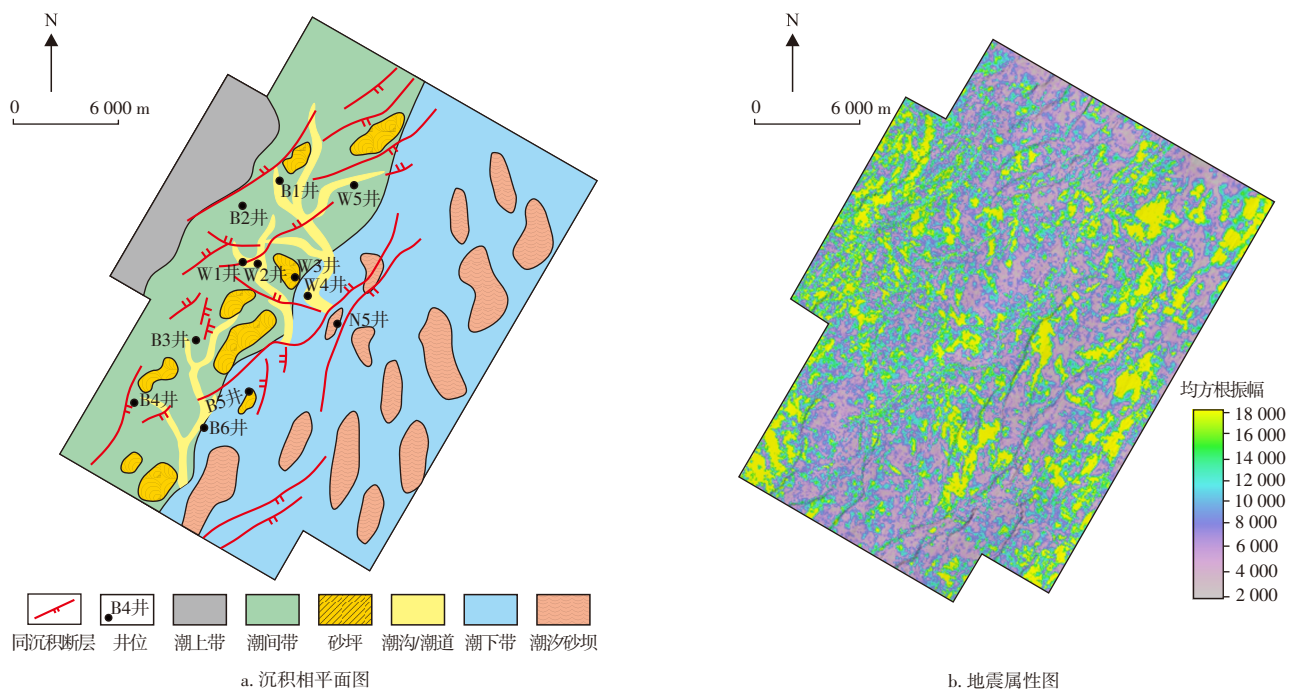


图9 东海陆架盆地西湖凹陷平北地区平湖组层序二时期沉积相平面展布特征

Fig. 9 Planar distribution characteristics of depositional facies during SQ 2 of Pinghu Formation in Pingbei area, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

位置。

根据 MILLER 重建的全球海平面变化曲线,海平面在层序二时期逐渐升高,发生大规模海侵^[20,28],宝云亭凸起逐渐淹没至水下,难以再为障壁岛的形成创造条件。层序二时期沉积环境由潮-浪双控的障壁滨岸环境转变为潮坪环境。研究区西部以潮上带—潮间带沉积为主,发育厚层泥岩并夹有多套煤层,以及潮间带韵律性薄层砂岩。由于潮汐作用的改造,局部可见双向水流交错层理及再作用面、双黏土层等典型潮间带沉积特征,同时可指示浅水环境。研究区中部潮间带—潮下带受潮汐影响,发育水流方向呈东西方向的潮道,岩性主要为中、粗砂岩,常含砾石,可见双向交错层理,反映韵律性潮汐环境。研究区东部主要发育潮下带潮汐砂坝砂体,根据地震反演体属性图显示,平面上东部砂体呈条带状或连片状分布,与岸线斜交或垂直,为潮下带的潮汐砂坝。沉积物由泥质沉积为主转化为砂质沉积为主,反映水动力条件逐渐增强。

5 结论与认识

1) 西湖凹陷平北地区在平湖组早期沉积类型多样。通过对平北地区的岩心及测井等综合资料进行精细刻画与描述,综合认为西湖凹陷平北地区在平湖组早期主要表现为障壁滨岸的沉积特征。在潮汐、波浪双重作用下的主要沉积相类型有障壁岛—潟湖和潮坪,并发育砂坪、潮道等亚相。

2) 平湖组层序一时期自西向东发育潟湖、障壁岛和开阔滨岸相,研究区西部发育三角洲,三角洲前缘延伸至潟湖水下,水下分流河道砂体发育;中部发育北北东—南南西走向障壁岛砂体;东部发育多列沿岸砂坝,呈条带状。层序二时期,主要为潮坪相,主要的砂体类型为潮道和砂坪。受到潮汐水流方向的影响,潮间带发育东西方向的潮道。东部发育的潮汐砂坝大多在潮下带汇聚形成,多数与岸线斜交或垂直,多呈北西—南东方向展布。

3) 在层序格架和海平面变化的控制下,建立了障壁滨岸—潮坪复合沉积模式。平湖组早期,平北地区沉积模式由障壁滨岸体系向潮坪体系转变。在沉积模式的指导下,结合该层位地震资料所识别出的砂体,认为研究区东部少井、无井区存在沿岸砂坝砂体富集带。

参考文献

- [1] 刘书会, 王宝言, 刘成鑫. 西湖凹陷平湖地区平湖组沉积相的再认识[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 1-3.
LIU Shuhui, WANG Baoyan, LIU Chengxin. The recognition about sedimentary facies in Pinghu Formation of Pinghu region[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3): 1-3.
- [2] 张年念, 程超, 余逸凡, 等. 西湖凹陷古近系致密砂岩气“三元耦合控藏”特征[J]. 非常规油气, 2024, 11(3): 27-34.
ZHANG Niannian, CHENG Chao, YU Yifan, et al. Characteristics of ternary factors coupling for controlling reservoir of Paleogene tight sandstone gas in Xihu Sag[J]. Unconventional Oil & Gas, 2024, 11(3): 27-34.
- [3] 王腊梅. 一体化质控的宽频保幅处理技术在西湖凹陷S气田的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2024, 47(1): 33-39.
WANG Lamei. Application of broadband amplitude-preserving processing with integrated quality control to S gasfield, Xihu depression, East China Sea[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2024, 47(1): 33-39.
- [4] 赵洪, 蒋一鸣, 常吟善, 等. 西湖凹陷平湖组基于沉积相标志的沉积特征研究[J]. 上海国土资源, 2018, 39(1): 88-92.
ZHAO Hong, JIANG Yiming, CHANG Yinshan, et al. Study on sedimentary characteristics of the Pinghu Formation based on sedimentary facies markers in Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Shanghai Land & Resources, 2018, 39(1): 88-92.
- [5] 蒋海军, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 西湖凹陷古近系沉积环境分析: 以微体古生物化石为主要依据[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(1): 74-78.
JIANG Haijun, HU Mingyi, HU Zhonggui, et al. Sedimentary environment of Paleogene in Xihu Sag: Microfossil as the main foundation[J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(1): 74-78.
- [6] 杨彩虹, 高兆红, 蒋一鸣, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带始新统平湖组碎屑沉积体系再认识[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(9): 11-14.
YANG Caihong, GAO Zhaohong, JIANG Yiming, et al. Reunderstanding of clastic rock sedimentary facies of Eocene Pinghu formation in Pinghu slope of Xihu Sag[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2013, 35(9): 11-14.
- [7] 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 & Gas Geology, 2013, 34(2): 185-191.
- [8] 王泽宇, 徐清海, 侯国伟, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷W井区平湖组潮汐沉积模式[J]. 海相油气地质, 2021, 26(2): 159-169.
WANG Zeyu, XU Qinghai, HOU Guowei, et al. Tidal depositional model of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag, East China Sea shelf Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2021, 26(2): 159-169.
- [9] 王军, 曹磊, 许怀智, 等. 东海盆地西湖凹陷平湖地区油气源对比及油气运移特征分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2024, 39(1): 1-11.
WANG Jun, CAO Lei, XU Huaizhi, et al. Comparison of oil-gas sources and analysis of oil-gas migration characteristics in Pinghu area of Xihu Sag, the East China Sea basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2024, 39(1): 1-11.
- [10] 张喜淳, 徐昉昊, 徐国盛, 等. 西湖凹陷古近系平湖组“断-脊-砂”耦合成藏差异性[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2025, 66(2): 344-361.
ZHANG Xichun, XU Fanghao, XU Guosheng, et al. The coupling difference of “fault-tectonic ridge-sand body” hydrocarbon accumulation in Pinghu Formation of Paleogene in Xihu Sag[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology

- Edition), 2025, 66(2): 344–361.
- [11] 赵谦. 东海陆架盆地西湖凹陷西部斜坡带平湖组潮河联控沉积体系研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2022.
- ZHAO Qian. Tidal and river joint-dominated sedimentary system analysis of the Pinghu Formation in the west slope belt of Xihu Depression, East China Sea shelf basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2022.
- [12] 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): 880–897.
- CAI Hua, QIN Lanzhi, LIU Yinghui. Differentiation and coupling model of source-to-sink systems with transitional facies in Pingbei slope of Xihu Sag[J]. Earth Science, 2019, 44(3): 880–897.
- [13] 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.
- YU Xinghe, LI Shunli, CAO Bing, et al. Oligocene sequence framework and depositional response in the Xihu depression, East China Sea shelf basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(2): 299–314.
- [14] STUTZ M L, PILKEY O H. Open-ocean barrier islands: Global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings[J]. Journal of Coastal Research, 2011, 27(2): 207–222.
- [15] COOPER J A G, JACKSON D W T, DAWSON A G, et al. Barrier islands on bedrock: A new landform type demonstrating the role of antecedent topography on barrier form and evolution[J]. Geology, 2012, 40(10): 923–926.
- [16] 钟玉婷, 董艳蕾, 李顺利, 等. 珠三坳陷珠海组海陆过渡相沉积特征及储层控制因素[J]. 东北石油大学学报, 2023, 47(4): 39–56.
- ZHONG Yuting, DONG Yanlei, LI Shunli, et al. Sedimentary characteristics and reservoir controlling factors of sea-land transition in Zhuhai Formation, Zhu-3 Depression[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2023, 47(4): 39–56.
- [17] 朱筱敏. 沉积岩石学: 第5版·富媒体[M]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- ZHU Xiaomin. Sedimentary petrology: 5th ed rich media[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020.
- [18] 邓宏文, 郑文波. 珠江口盆地惠州凹陷古近系珠海组近海潮汐沉积特征[J]. 现代地质, 2009, 23(5): 767–775.
- DENG Hongwen, ZHENG Wenbo. Depositional characteristics of offshore tidal deposits in the lower tertiary Zhuhai formation, Huizhou depression, Pearl River mouth basin[J]. Geoscience, 2009, 23(5): 767–775.
- [19] 李伟茹, 李志华, 李胜利, 等. 障壁岛—潟湖沉积特征及模式: 以美国普拉姆岛上更新统一全新统为例[J]. 古地理学报, 2022, 24(6): 1073–1083.
- LI Weiru, LI Zhihua, LI Shengli, et al. Sedimentary characteristics and model of barrier island-lagoon: An example from the Upper Pleistocene-Holocene in Plum island, USA[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2022, 24(6): 1073–1083.
- [20] 周瑞琦, 傅恒, 徐国盛, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组—花港组沉积层序[J]. 沉积学报, 2018, 36(1): 132–141.
- ZHOU Ruiqi, FU Heng, XU Guosheng, et al. Eocene Pinghu formation-Oligocene Huagang formation sequence stratigraphy and depositional model of Xihu Sag in East China Sea basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(1): 132–141.
- [21] 姜在兴, 王俊辉, 张元福. 滩坝沉积研究进展综述[J]. 古地理学报, 2015, 17(4): 427–440.
- JIANG Zaixing, WANG Junhui, ZHANG Yuanfu. Advances in beach-bar research: A review[J]. Journal of Palaeogeography, 2015, 17(4): 427–440.
- [22] 王俊辉, 姜在兴, 鲜本忠, 等. 利用滩坝砂体规模研究古风力的定量恢复[J]. 古地理学报, 2021, 23(5): 937–950.
- WANG Junhui, JIANG Zaixing, XIAN Benzong, et al. Determination of Palaeowind strength by using scale of beach-bar sand bodies[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2021, 23(5): 937–950.
- [23] 李帅, 俞伟哲, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带物源-坡折耦合控砂模式[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(7): 36–44.
- LI Shuai, YU Weizhe, QIN Lanzhi, et al. Sand-controlling model of source-slope-break coupling in Pinghu Slope Belt, Xihu Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(7): 36–44.
- [24] 姜在兴, 陈代钊. 沉积学: 第3版[M]. 北京: 中国石化出版社, 2022.
- JIANG Zaixing, CHEN Daizhao. Sedimentology: 3rd ed[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2022.
- [25] 蒋一鸣, 赵洪, 唐贤君, 等. 东海盆地西湖凹陷平湖斜坡带平北区始新统宝石组沉积环境及沉积相类型[J]. 石油实验地质, 2025, 47(5): 941–950.
- JIANG Yiming, ZHAO Hong, TANG Xianjun, et al. Sedimentary environment and facies types of Eocene Baoshi Formation in Pingbei area, Pinghu slope belt, Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2025, 47(5): 941–950.
- [26] 王腊梅, 涂齐催, 毛云新, 等. 西湖凹陷斜坡带平湖组富煤地层弱煤优化处理[J]. 石油物探, 2025, 64(2): 379–387.
- WANG Lamei, TU Qicui, MAO Yunxin, et al. Optimal treatment of weak coal in coal-rich strata of Pinghu formation in slope zone of Xihu sag[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2025, 64(2): 379–387.
- [27] 蒋一鸣, 邵龙义, 李帅, 等. 西湖凹陷平湖构造带平湖组沉积体系及层序地层研究[J]. 现代地质, 2020, 34(1): 141–153.
- JIANG Yiming, SHAO Longyi, LI Shuai, et al. Deposition system and stratigraphy of Pinghu formation in Pinghu tectonic belt, Xihu Sag[J]. Geoscience, 2020, 34(1): 141–153.
- [28] MILLER K G, BROWNING J V, SCHMELZ W J, et al. Cenozoic sea-level and cryospheric evolution from deep-sea geochemical and continental margin records[J]. Science Advances, 2020, 6(20): eaaz1346.