

东海陆架盆地西湖凹陷W井区平湖组 潮汐沉积模式

王泽宇¹, 徐清海¹, 侯国伟², 张昌民¹, 朱锐¹, 刘思琦¹

1 长江大学地球科学学院; 2 中海石油(中国)有限公司上海分公司研究院

摘要 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组发育大量潮汐沉积, 具有较大的油气勘探潜力。综合利用岩心与测井资料, 对西湖凹陷W井区平湖组岩相及沉积微相类型进行分析, 并通过对江苏省东南部如东—东台沿海地区的现代沉积考察, 进行比较沉积学研究, 结合平湖组发育情况及现代潮汐沉积平面展布, 明确了研究区平湖组潮汐沉积特征及发育规律, 建立了沉积模式。研究结果表明: 研究区平湖组发育一套潮控三角洲—潮坪沉积体系, 沉积亚相主要包括三角洲前缘、潮上带和潮间带, 可进一步识别出水下分流河道、分流间湾、河口坝、席状砂、沼泽、泥坪、砂坪、混合坪、潮汐水道共9种沉积微相。在沉积体系分析的基础上, 建立了研究区潮控三角洲—潮坪沉积模式。

关键词 潮汐沉积; 沉积微相; 沉积模式; 平湖组; 西湖凹陷; 东海陆架盆地

中图分类号: TE122.2 **文献标识码**: A

0 前言

东海陆架盆地内存在多个有利的油气凹陷, 是我国近海油气资源丰富的沉积盆地之一, 始新统平湖组沉积前后经历了雁荡、甌江及玉泉等多期构造运动, 古地貌特征复杂, 沉积环境变化较大。西湖凹陷为东海陆架盆地油气最富集的凹陷, 前人针对平湖组沉积相及沉积模式做了大量研究, 但仍存在较大争议^[1-12]。有部分学者提出平湖组主要发育海相沉积。例如, 蒋海军等^[2]以微体古生物化石为研究对象, 认为平湖组中下部为海相沉积; 张建培等^[3]认为平湖组为海湾沉积, 且沉积期水体逐渐收缩; 魏恒飞等^[4]认为平湖组主要沉积环境为受潮汐影响的三角洲和辫状河三角洲; 周瑞琦等^[5]提出了西湖凹陷西部缓坡带不同体系域受潮汐影响的三角洲的沉积模式; 于兴河等^[6]认为平湖组为受潮汐影响的河流—三角洲、潮坪沉积体系; 蒋一鸣等^[7]提出平湖组为在平缓的斜坡和浅水背景下发育的河控三角洲沉积, 局部受到潮汐作用的影响; 吴嘉鹏等^[8]认为平湖组发育受潮汐作用影响的三角洲相、潮坪相及局限浅海相; 李祥权等^[9]将西湖凹陷西部斜坡带

划分3个区带, 平南区平湖组以潮坪沉积体系为主。也有不少学者对平湖组是否发育海相沉积提出异议, 认为平湖组发育陆相沉积。杨彩虹等^[10]认为平湖组砂岩不符合受潮汐作用影响的三角洲沉积体系的特征, 而属于辫状河三角洲沉积; 胡明毅等^[11]认为平湖组主要发育三角洲平原亚相。

总体来说, 前人对西湖凹陷区域沉积体系的研究较多, 而对小区域内的精细解剖分析较少。为了明确研究区的沉积环境和沉积微相, 有必要开展平湖组沉积相类型的精细研究。本文以研究区平湖组的钻井岩心、测井资料为基础, 结合江苏省东南部如东—东台沿海地区现代潮汐沉积考察结果, 对研究区平湖组沉积相类型进行了划分, 并进一步提出沉积模式, 以期对平湖组有利砂体的预测及下一步勘探开发提供可靠依据。

1 区域地质概况

东海陆架盆地位于菲律宾板块、太平洋板块和欧亚板块的交界处, 主要形成于晚白垩世至上新世, 现今是一个NNE走向的大型负向构造单元。西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷的中北部, 北面

收稿日期: 2021-03-26; 改回日期: 2021-05-10

本文受“十三五”国家科技重大专项课题“深层优势储层形成条件及地质预测技术”(编号: 2016ZX05027-02-007)资助

第一作者: 王泽宇, 硕士研究生, 主要从事沉积储层研究工作。通信地址: 430100 湖北省武汉市蔡甸区大学路111号长江大学; E-mail: wangzy9810@sina.com

与福江凹陷相邻,南部与钓北凹陷相连,钓鱼岛隆褶带为其东部边界,西部与海礁凸起相接壤,面积约为 $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。西湖凹陷经历了瓯江运动、玉泉运动、花港运动和龙井运动等4次重要的构造运

动^[13-14],呈现北高南低的趋势,为半封闭海湾沉积环境。西湖凹陷构造上具“东西分带、南北分块”的特征,可划分为西部斜坡带、西次洼、中央反转构造带、东次洼和东部断阶带(图1a)^[12]。

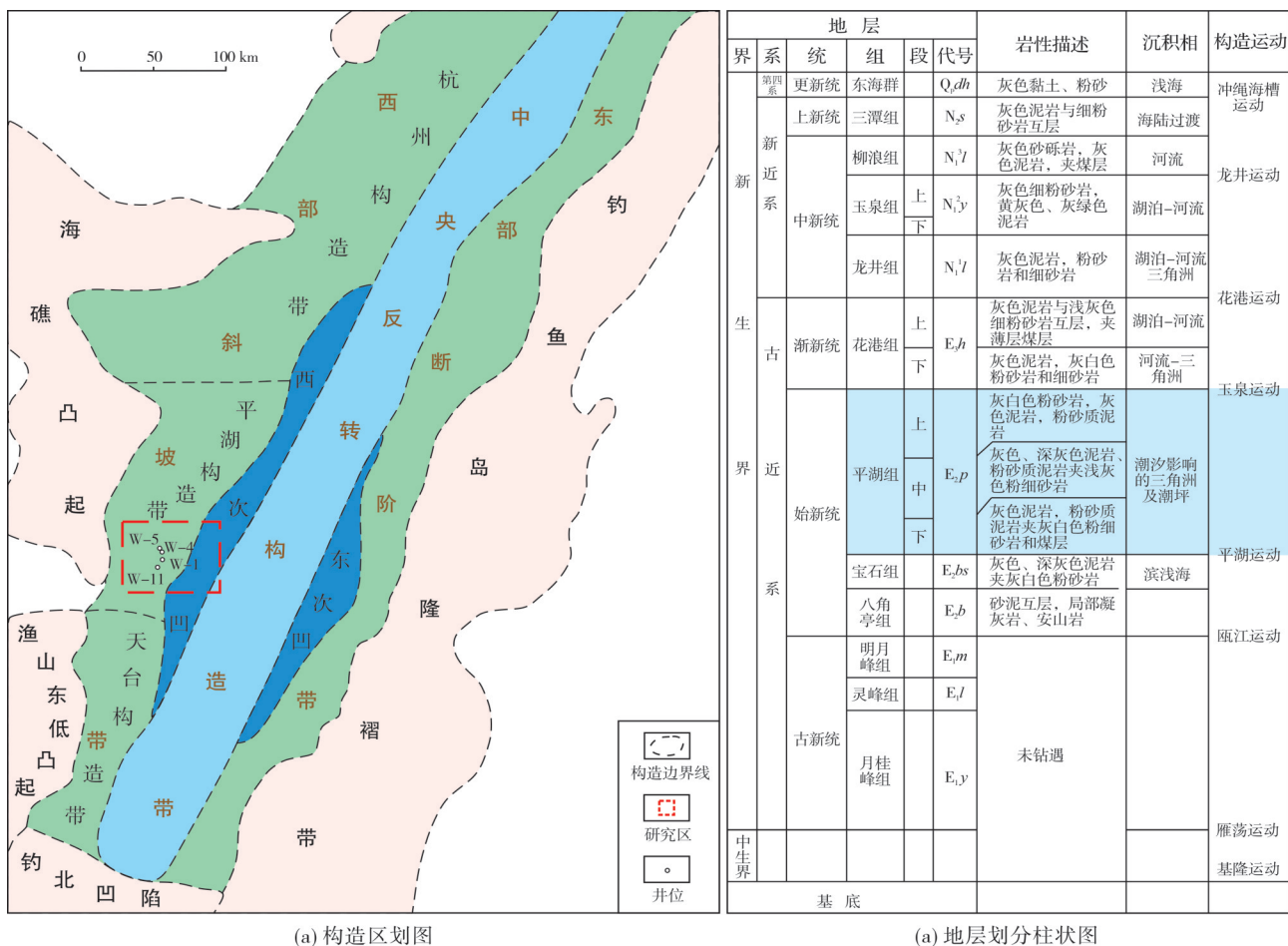


图1 西湖凹陷构造及地层划分图

Fig. 1 Tectonic and stratigraphic division map of Xihu Sag

研究区由下至上发育了古新统月桂峰组、灵峰组、明月峰组,始新统八角亭组、宝石组、平湖组,渐新统花港组,中新统龙井组、玉泉组、柳浪组,上新统三潭组和更新统东海群(图1b)。始新统平湖组为本文研究的目的层段^[8],地层厚度为500~1 800 m,划分为 SQ_1 (平湖组下段)、 SQ_2 (平湖组中段)、 SQ_3 (平湖组上段)3个三级层序^[15],该层段主要发育潮汐影响的三角洲和潮坪(图2)。

2 沉积体系类型及特征

2.1 岩石学特征

平湖组岩石类型以长石砂岩为主。石英含量

为65%~80%,平均为69%(图3a);长石含量为7%~20%,平均为13%,主要为正长石,含少量斜长石;岩屑含量为7%~21%,平均为18%,以岩浆岩、变质岩岩屑为主,含少量沉积岩岩屑;杂基含量低于2%。成分成熟度指数 $Q/(F+R)$ 为1.9~2.5,平均为2.3。这表明平湖组砂岩总体上具有较高的成分成熟度。

根据薄片鉴定分析,西湖凹陷平湖组砂岩总体具有较高的结构成熟度:分选以好为主,其次为中—好及中等,其中分选好的接近一半(图3b);磨圆度则以次棱—次圆和次圆—次棱为主(图3c)。可见,平湖组砂岩沉积物搬运距离较长,而且沉积在水动力条件较强的环境中。

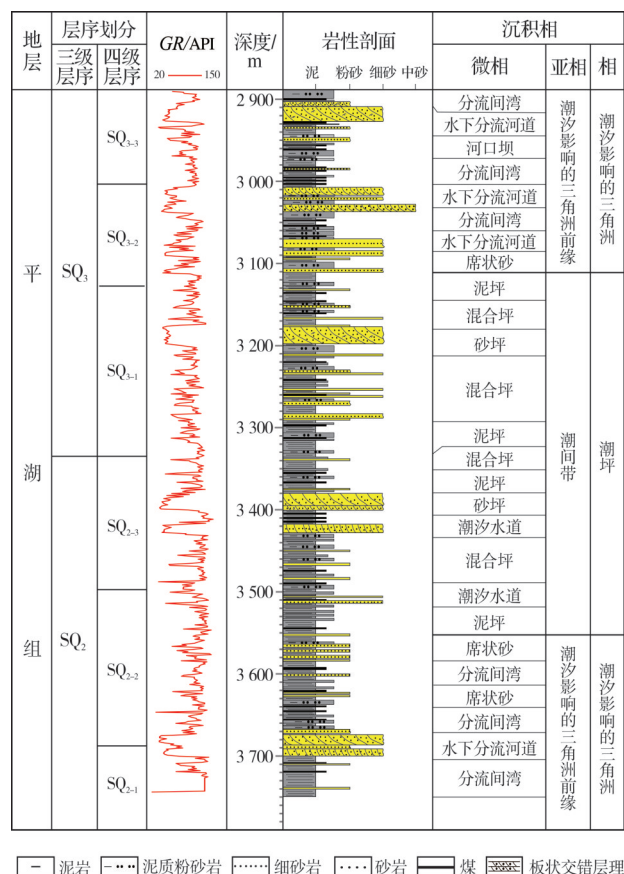
图2 西湖凹陷W-4井平湖组SQ₂—SQ₃层序沉积相柱状图

Fig. 2 Sedimentary facies column of sequence SQ₂—SQ₃ of Pinghu Formation of Well W-4 in Xihu Sag

2.2 沉积构造特征

通过对研究区W-1井、W-4井、W-5井、W-11井等4口井平湖组长度402.94 m岩心的精细描述,识别出研究层段中主要发育双黏土层、韵律层理、透镜状层理、脉状层理、羽状交错层理、生物扰动构造、软沉积物变形构造、沙纹层理、大型板状交错层理、中型板状交错层理、小型板状交错层理、煤层等沉积构造(图4),组成3种含砾砂岩相、7种砂岩相、7种粉砂岩相和4种泥岩相共21种岩石相类型。

砂岩中发育块状层理砂岩相(S1m)、平行层理砂岩相(S1p)、小型板状交错层理砂岩相(S1tas)、中型板状交错层理砂岩相(S1tam)、大型板状交错层理砂岩相(S1tal)、透镜状层理砂岩相(S1l)、脉状层理砂岩相(S1f)。其中交错层理中常见泥砾,分选和磨圆均较好,砾石长轴方向定向性明显,砾石定向显示出交错层理特征。

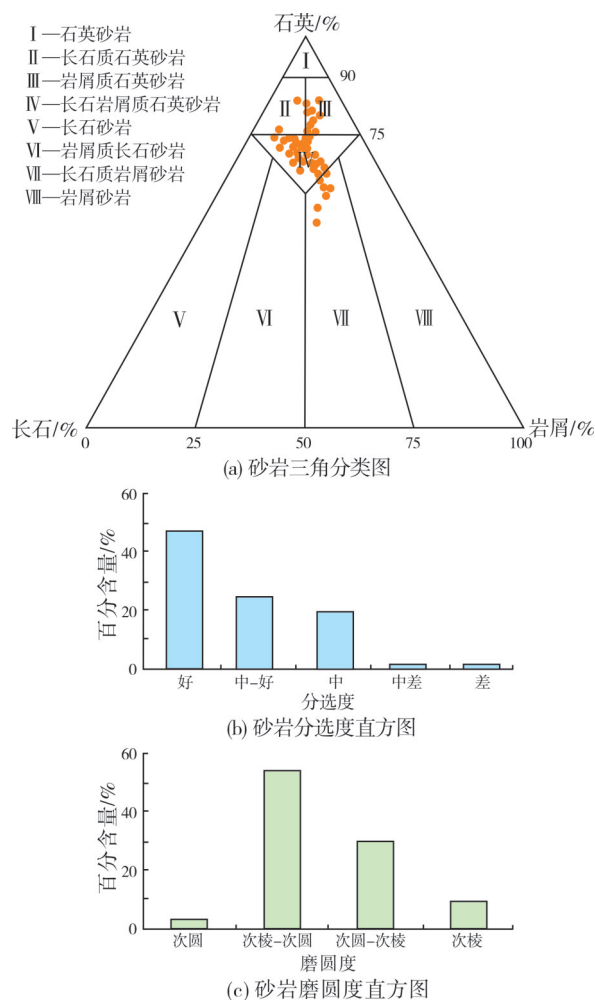


图3 西湖凹陷平湖组岩石学特征

Fig. 3 Petrological characteristics of Pinghu Formation in Xihu Sag

含砾砂岩中发育块状层理含砾砂岩相(S2m)、平行层理含砾砂岩相(S2h)、交错层理含砾砂岩相(S2x)。其中平行层理中可见分选较差的砾石,磨圆呈次棱角状。

粉砂岩中发育块状层理粉砂岩相(Fm)、水平层理粉砂岩相(Fh)、浪成沙纹层理粉砂岩相(Frw)、透镜状层理粉砂岩相(FI)、韵律层理粉砂岩相(Frh)、生物扰动构造粉砂岩相(Fb)、软沉积物变形粉砂岩相(Fd)。羽状交错层理是潮汐沉积中发育的具有代表性的沉积构造(图4d)。砂岩层代表了涨潮和落潮期沉积,而泥岩层则代表了平潮和停潮期沉积。由于涨潮流和落潮流在空间上的分离和潮流活动本身的非对称性及潮汐流日不等量效应,潮汐能量在一个周期内呈现规律性变化,从而造成连续的砂岩层厚薄交替,整体呈现韵律性变化^[16-20]。若涨潮和落潮时水流强度和活动

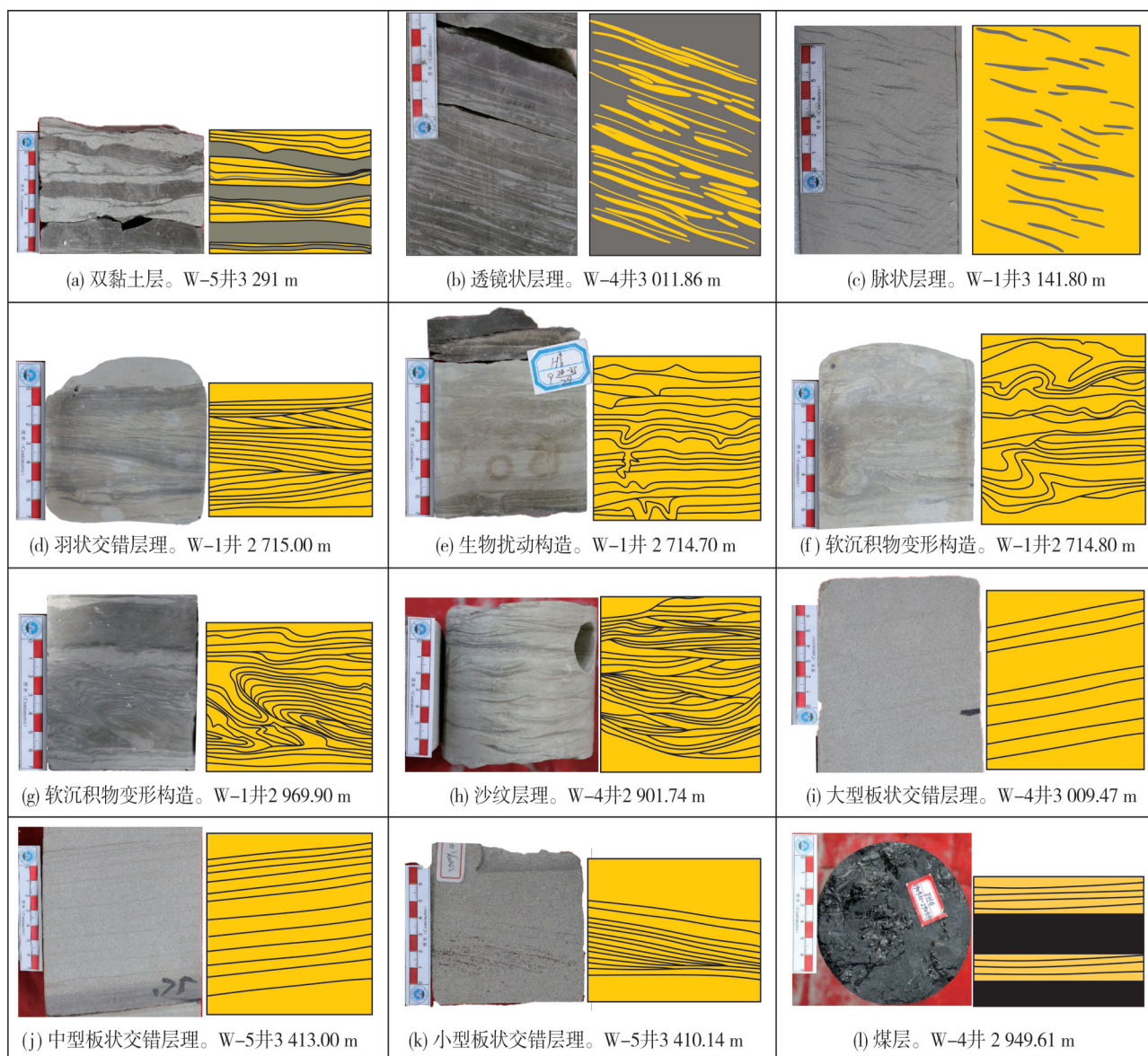


图4 西湖凹陷平湖组部分沉积构造类型及素描图

Fig. 4 Part of sedimentary structure types and sketch of Pinghu Formation in Xihu Sag

时间极不对称,则形成双黏土层结构^[21-22]。双黏土层中砂质层厚 1~30 mm,泥质层厚 1~20 mm,在潮汐作用的三角洲水下分流河道及潮汐水道广泛发育。

泥岩中发育块状层理泥岩相(Mn)、水平层理泥岩相(Mh)、生物扰动构造泥岩相(Mb)、软沉积物变形构造泥岩相(Md)。

2.3 沉积相划分

以西湖凹陷构造-沉积演化背景为基础,依据钻井岩心观察,分析钻井沉积相及测井相,结合研

究区岩石学、沉积构造特征,在研究区平湖组中划分出潮控三角洲和潮坪2种沉积相类型(图2)。

2.3.1 潮控三角洲

研究区主要发育潮控三角洲前缘亚相,可进一步划分出水下分流河道、分流间湾、河口坝及席状砂等微相^[23-27](图2)。

水下分流河道 水下分流河道为分流河道延伸至水下的部分。岩性以细砂岩、粉砂岩为主,泥岩含量很少,多发育S1tal+S1tas+S1tam+S2x+S1p岩石相组合(图5)。垂向上一般呈现正旋回特征,单期河道

内自下而上砾石含量逐渐减少,砂质含量逐渐减少,泥质含量逐渐增多,交错层理规模变小,反映出河道发育初期到末期能量由强到弱的变化过程。由于受到河流和潮汐的双重影响,常见双黏土层。在每期河道底部见冲刷面,顶部和底部与上下岩层均为突变接

触,表明沉积终止较快。自然伽马曲线表现为高幅齿化箱形, GR 值分布范围为9~98 API,集中在25 API左右,表明沉积物供给丰富,沉积速率高,整体在水动力较强的环境下,随着时间的变化水动力强度发生波动,因此造成了测井曲线的齿化。

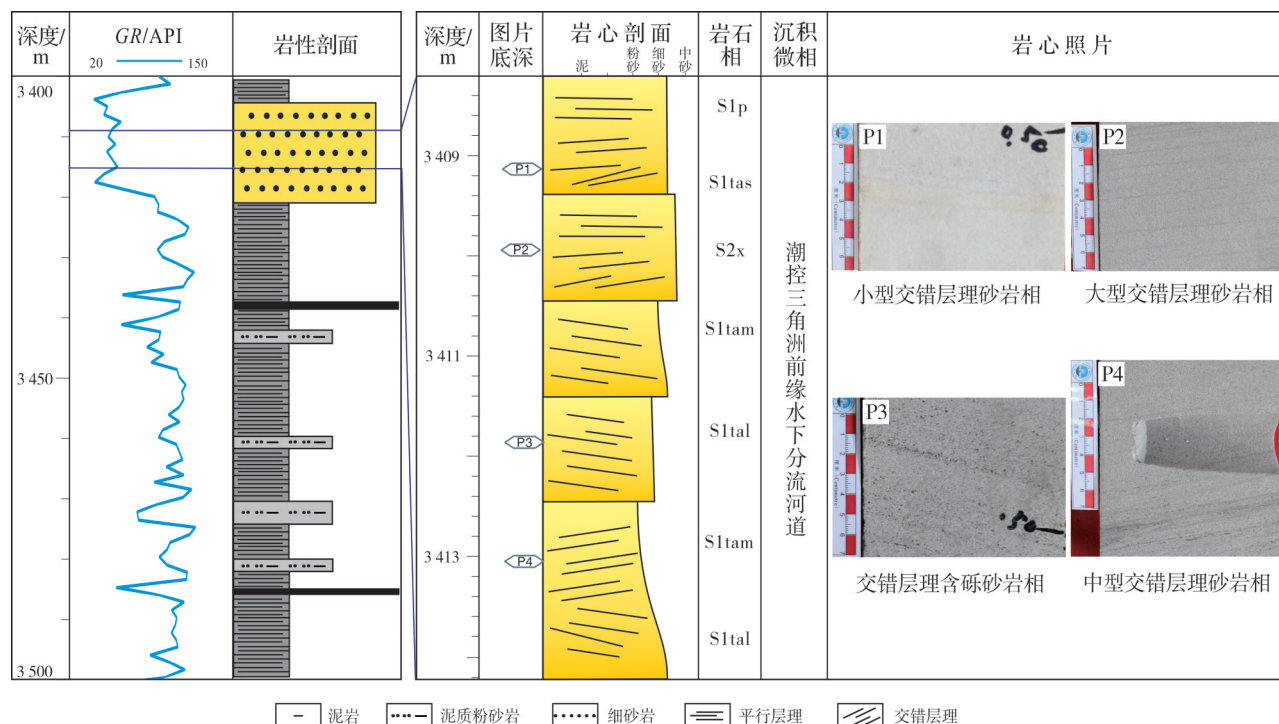


图5 西湖凹陷平湖组潮控三角洲前缘水下分流河道岩心柱状图(W-5井)
Fig. 5 Core column of underwater distributary channel in tidal-controlled delta of Pinghu Formation in Xihu Sag (Well W-5)

河口坝 河口坝是在分流河道入海口附近形成的沙质浅滩。河口坝沉积主要由分选好、磨圆好、纯净的细砂岩和粉砂岩组成,岩石相组合主要为Mh+Mn+Fh+Fb+S1m+S1tas,整体上为反粒序(图6)。可见交错层理、平行层理、沙纹层理、块状层理、水平层理,下部主要为小型层理,向上层理规模逐渐变大。自然伽马曲线多呈漏斗形或者指化漏斗形, GR 值最大可达143 API,最小为2 API, GR 值分布跨度大,代表其沉积环境变化较大。河口坝微相长度和宽度比较大,大部分在平面上呈指状的径向分布,所在的水动力环境较强,为河流进入相对安静的环境下快速卸载其携带的物质而形成。

分流间湾 一般是指位于两个水下分流河道之间的海湾,常发育于潮道微相沉积之上,岩性主要由

泥岩、粉砂岩和砂质泥岩组成,偶见一些泥砾镶嵌在粉砂岩中杂乱排列,主要发育Mn+Fh+Mb岩石相组合。植物化石碎片和根迹化石分布广泛,碳化作用明显。自然伽马曲线通常呈连续的指状或低幅齿形, GR 值分布范围为23~120 API,集中在110 API左右,表明整体以弱水动力条件下、水体能量偶有增强而形成的泥岩与粉砂质泥岩交互式沉积为主。

席状砂 在潮汐作用的影响之下,呈平行于岸线的砂脊状,岩性主要为粉砂岩和细砂岩。在平面上呈平直席状展布,垂向上以一定的韵律与泥岩互层,一般厚2~3 m,构成Frw+S1tas的岩石相组合,水体能量较弱。自然伽马曲线呈漏斗形, GR 值分布范围为36~89 API,集中在78 API左右,反映了海平面波动次数多,沉积环境在三角洲前缘与浪基面之间的区域来回变化。

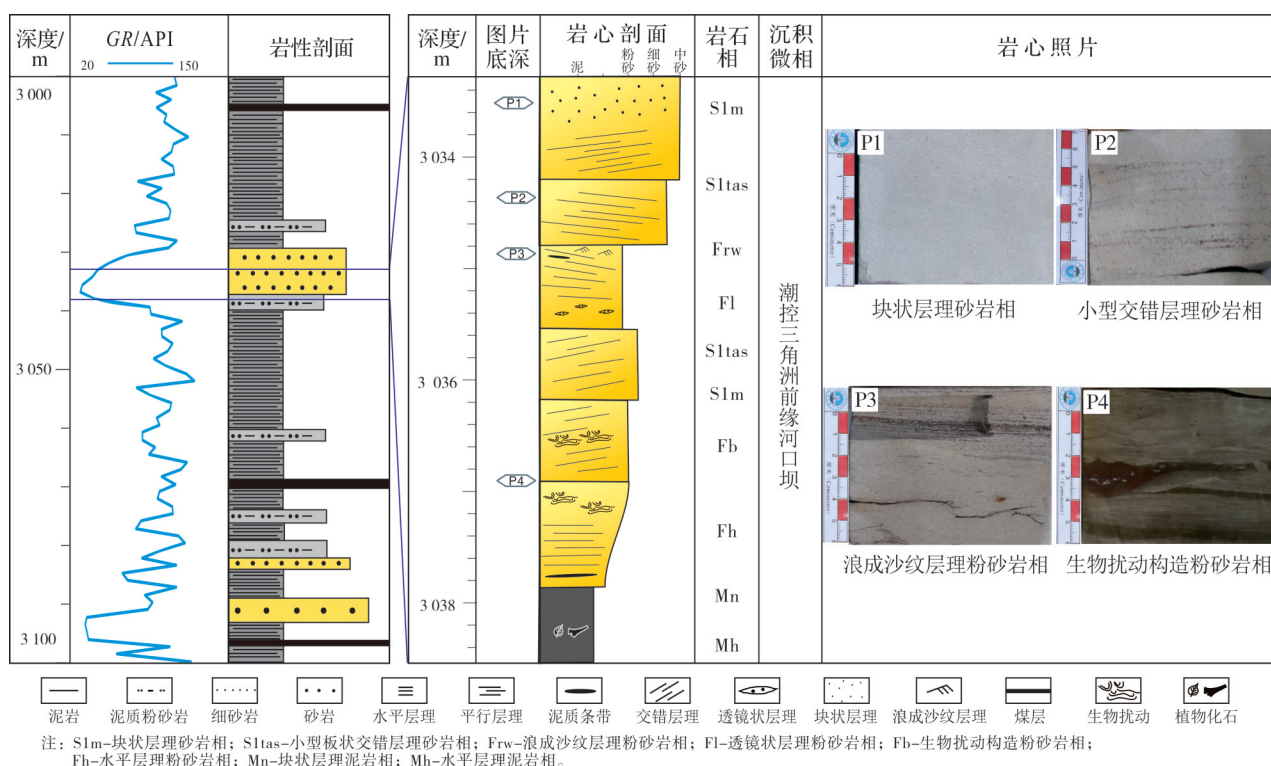


图6 西湖凹陷平湖组潮控三角洲前缘河口坝岩心柱状图(W-5井)

Fig. 6 Core column of estuary bar in tidal-controlled delta of Pinghu Formation in Xihu Sag (Well W-5)

2.3.2 潮坪

研究区内潮汐沉积主要由潮上带和潮间带亚相组成。

潮上带 平湖组潮上带主要发育沼泽微相,沼泽是潮坪沉积体系的一种重要沉积环境。由于潮汐的不断涨落,部分地区可生长大量植物,为沼泽的形成提供了有利条件。平湖组沼泽沉积主要为含大量植物化石的灰黑色、黑色泥岩,并常见有煤层,厚度多为1~2 m。自然伽马曲线呈低幅齿形,GR值分布范围集中在125 API左右,表明其在弱水动力条件下沉积形成。

潮间带 潮间带亚相可进一步划分为泥坪、砂坪、混合坪和潮汐水道等微相^[28-31]。

泥坪 位于平均高潮线附近,仅在高潮时淹没于水下。岩性多为灰黑色泥岩、泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,有机质含量高,常含碳质,可见煤层,发育Mn+Mb+Mh+Md岩石相组合。可以见到泄水构造和生物扰动构造,以及植物根痕和生物潜穴。自然伽马曲线表现为齿形或低幅指形,GR值分布范围为28~96 API,集中在72 API左右,表明其主要形成于

弱水动力环境中。沉积厚度为10~50 m。

砂坪 是由于潮流对海岸强烈的冲刷侵蚀及对潮汐沙坝的破坏改造,加之潮汐水道侧向迁移摆动形成的。砂坪位于平均低潮线附近,水体能量高。岩性多以细砂岩以及含砾细砂岩为主,常发育S1tas+S1m+Frw岩石相组合(图7)。砂岩中常见双黏土层,指示潮汐作用显著。自然伽马曲线形状为漏斗型或高幅齿型,GR值分布范围为11~140 API,多集中在27 API左右,表明其形成于较强水动力环境之中。沉积厚度为10~40 m。

混合坪 位于平均高潮线至平均低潮线之间,砂泥岩互层,发育细砂岩、粉—细砂岩。常见Mh+Fl+Fb+S1p+S1f岩石相组合。单层砂岩、泥岩厚度多小于2m,砂岩中潮汐层理很常见。自然伽马的形状为低幅指状,GR值分布范围为30~137 API,分布较为分散,表明其水动力条件变化较为频繁。沉积厚度为20~60 m。

潮汐水道 是由于潮流的冲刷,在潮坪上形成的冲沟,通常发育于混合坪与砂坪内部。水道内部潮流流动方向相反,一侧向海,另一侧向陆。岩性以中细砂岩为主,有时可见粗砂和砾石,多发育S2x+

Fl+Frh+S1p+Frw 岩石相组合(图7),垂向上构成正旋回沉积序列。单个沉积序列厚度较小,多为5~20 m。沉积构造以平行层理、楔状交错层理和双黏土层为主,水道底部常见泥岩撕裂屑、泥砾沿层理面呈条

带状分布。自然伽马曲线呈箱形或钟形,GR值分布范围为45~79 API,箱形反映物源充足、水动力稳定的快速堆积,钟形代表水流能量向上减弱、水道在侧向不断迁移的特征。

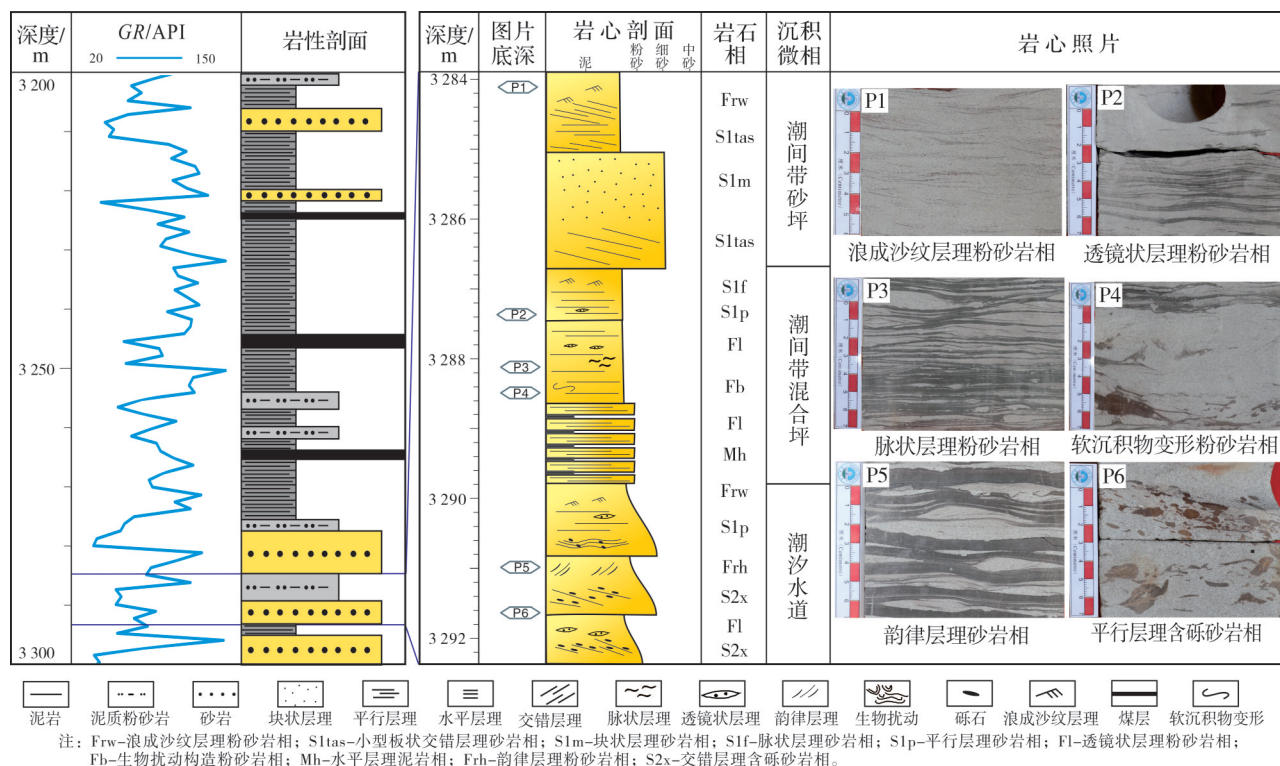


图7 西湖凹陷平湖组潮间带岩心柱状图(W-5井)

Fig. 7 Core column of intertidal zone of Pinghu Formation in Xihu Sag (Well W-5)

3 现代潮汐沉积

为了深入明确西湖凹陷平湖组沉积体系及沉积相发育特征,对江苏省东南部的如东—东台沿海地区进行现代潮汐沉积考察,并与西湖凹陷平湖组沉积特征进行对比研究。

考察区位于江苏省东南部,地处长江三角洲北翼,与黄海相接,潮坪与河流体系共生。本次考察以潮间带为主(图8a),潮上带与潮下带未涉及。潮间带分布广,其上发育泥坪(图8b)、混合坪(图8c)、沙坪(图8d)及潮汐水道(图8e)。

泥坪 泥坪分布在潮间带的最上部,沉积物以极细砂和粉砂为主(图9a),涨潮期间沉积一层薄泥膜或者薄泥层。由于水动力条件的差异,各处泥质层的厚度不同。泥坪上波痕极为发育,可见流水波痕、浪成波痕、干涉波痕和改造波痕,波痕形态发育齐全,波痕波长一般不大于20 cm,波高小于5 cm。

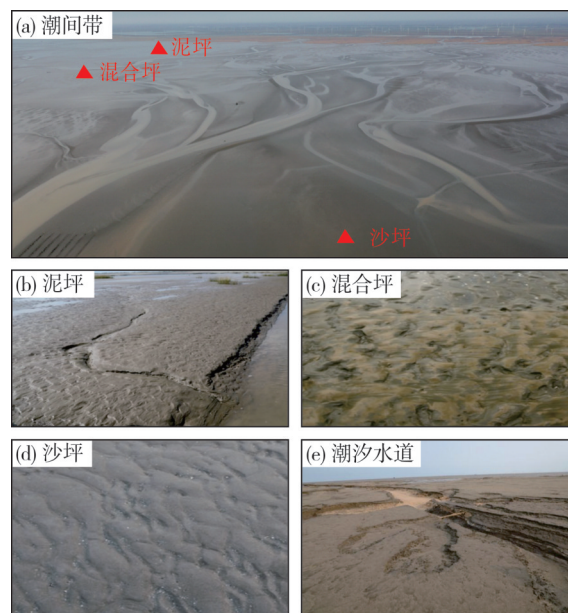


图8 江苏如东—东台沿海地区潮间带分布及其微相特征

Fig. 8 Distribution and microfacies of intertidal zone in Rudong—Dongtai coastal area, Jiangsu Province

混合坪 混合坪发育在泥坪与沙坪之间,多表现为砂泥互层,发育粉细砂岩、泥质粉砂岩和灰黑色泥岩沉积(图9b)。相对于泥坪,混合坪滩面上的泥质披覆明显减少,可见薄泥皮披覆在波痕的表面,或有零星的泥质沉积在砂质的波痕凹槽中,有利于发育脉状层理。混合坪上植被较少(图8c)。

沙坪 沙坪发育在潮间带最下部。从沉积物粒度来看,沙坪总体以砂质沉积为主,少见泥质沉积物(图8d,图9c)。沙坪不同部位沉积物的粒度有差异,但远不及河道的变化显著。沙坪是潜穴动物大量生存的场所,常见双壳类、腕足类等。沙坪上退

潮期形成的流水波痕较发育,大多数受到波浪或流水的改造,形成次级波痕或双脊波痕,波痕波长最大不超过50 cm,波高小于10 cm。

潮汐水道 潮汐水道是发育在潮坪上的所有渠化水流的统称。一般将规模较小的潮汐水道称为潮沟,稍大一些并且连续向潮下带延伸的水道称为潮汐水道(图8e)。潮沟河岸陡峭,剖面出露处可见明显的沙纹层理(图9d)等沉积构造,两侧有时可见滑塌构造。沼泽区发育的潮沟宽约3 m,深度大于1 m。由于季节性的潮差,潮坪冬季出露,潮滩滩面较长时间没有被淹没,潮水侵蚀滩面形成潮沟系统。

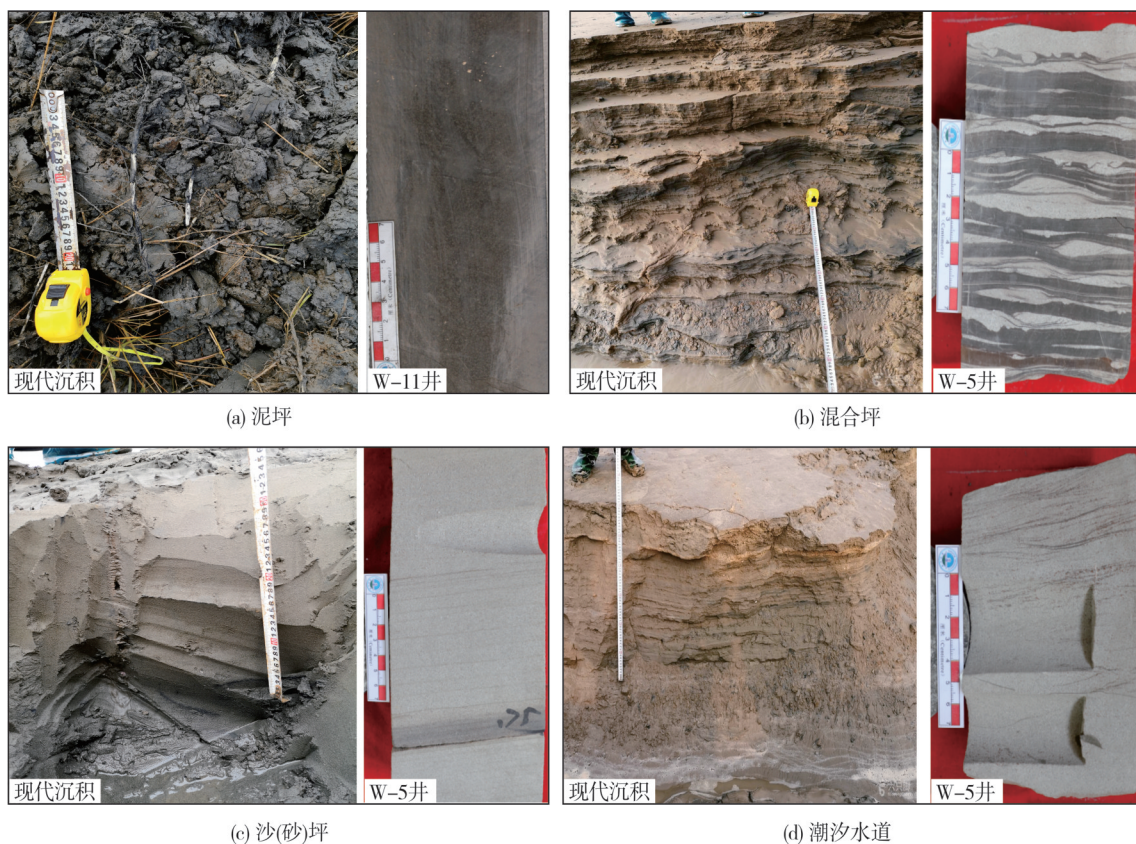


图9 江苏如东—东台沿海地区潮间带沉积与西湖凹陷平湖组岩心特征对比

Fig. 9 Comparison of intertidal deposits in Rudong—Dongtai coastal area, Jiangsu and cores of Pinghu Formation in Xihu Sag

如东—东台沿海地区现代潮汐与研究区平湖组潮汐沉积特征可对比。潮汐对如东—东台沿海地区的影响较大,潮坪上发育大量的原生沉积构造,沉积构造受到潮汐、水流、波浪等作用的影响,泥坪上发育各种波痕、变形层理和滑塌变形等沉积构造。混合坪以砂泥互层为主要特征,探槽中可见三层黄褐色厚沙层与三层灰黑色薄层泥互层,与研究区平湖组岩心中灰白色砂岩与灰黑色

泥岩互层结构相似(图9b)。沙坪上以砂质沉积为主,少见泥质沉积物。潮汐水道探槽切面能观察到黄褐色沙层中发育灰白色沙纹层理,可以与研究区平湖组岩心中灰白色砂岩中发育的深褐色浪成沙纹层理相类比(图9d)。所以,江苏如东—东台地区现代沉积考察对划分研究区平湖组沉积相带及建立潮控三角洲—潮坪体系沉积模式具有指导意义。

4 沉积环境演化及沉积模式

在对西湖凹陷平湖组潮汐沉积与如东—东台沿海地区现代潮汐沉积特征进行对比研究的基础上,明确了平湖组潮汐沉积体系发育演化特征,建立了沉积模式。

4.1 沉积演化

SQ₁时期,西湖凹陷为半封闭海环境,除了南部与钓北凹陷连通,东部钓鱼岛隆褶带也存在缺口,海水可以进入西湖凹陷区。SQ₁₋₁水位相对较低,物源供给相对不足,发育潮坪—潮控三角洲体系,研究区主要发育潮汐控制的三角洲。SQ₁₋₂水位快速上升,其海侵作用比SQ₁₋₁变强,潮控三角洲沉积规模变小,潮坪沉积范围变大。SQ₁₋₃水位达到最高,研究区以潮坪沉积为主,发育小型潮控三角洲。

SQ₂时期,为平湖组海侵作用最强的时期,在一定程度上继承了SQ₁时期三角洲的发育特征。SQ₂₋₁主要发育潮坪沉积。SQ₂₋₂时期海侵作用最强,受潮汐控制,潮汐水道发育。SQ₂₋₃主要发育潮坪沉积。

SQ₃时期,由于SQ₁与SQ₂时期沉积物的不断充填,以及东部钓鱼岛隆起的封闭阻挡作用,潮汐作用减弱,湖泊范围缩小,西湖凹陷北部地区逐渐演变为陆上环境。SQ₃₋₁与SQ₃₋₂时期受到南部潮汐作用控制,使得西湖凹陷潮坪仍较发育,研究区发育潮控三角洲,SQ₃₋₃时期三角洲进积且规模较大,潮汐作用进一步减弱。

4.2 沉积模式

通过对研究区4口单井岩心精细描述以及沉积微相分析和连井剖面对比(图10),认为研究区发育潮控三角洲—潮坪沉积体系。参考国内外相模式,建立了研究区潮控三角洲—潮坪沉积模式(图11)。

结合经典潮汐沉积模式与现代沉积考察,推测研究区的沉积过程如下:当波浪作用至平均高潮线附近时,研究区被淹没于水下,无滩面出露,仅有潮上带及三角洲平原中的一些植被露出水面。三角洲平原中发育沼泽,以泥质粉砂岩与粉砂质泥岩沉积为主,夹薄层煤层。当波浪作用至平均低潮线附近时,潮间带及三角洲前缘出露。三角洲前缘受双

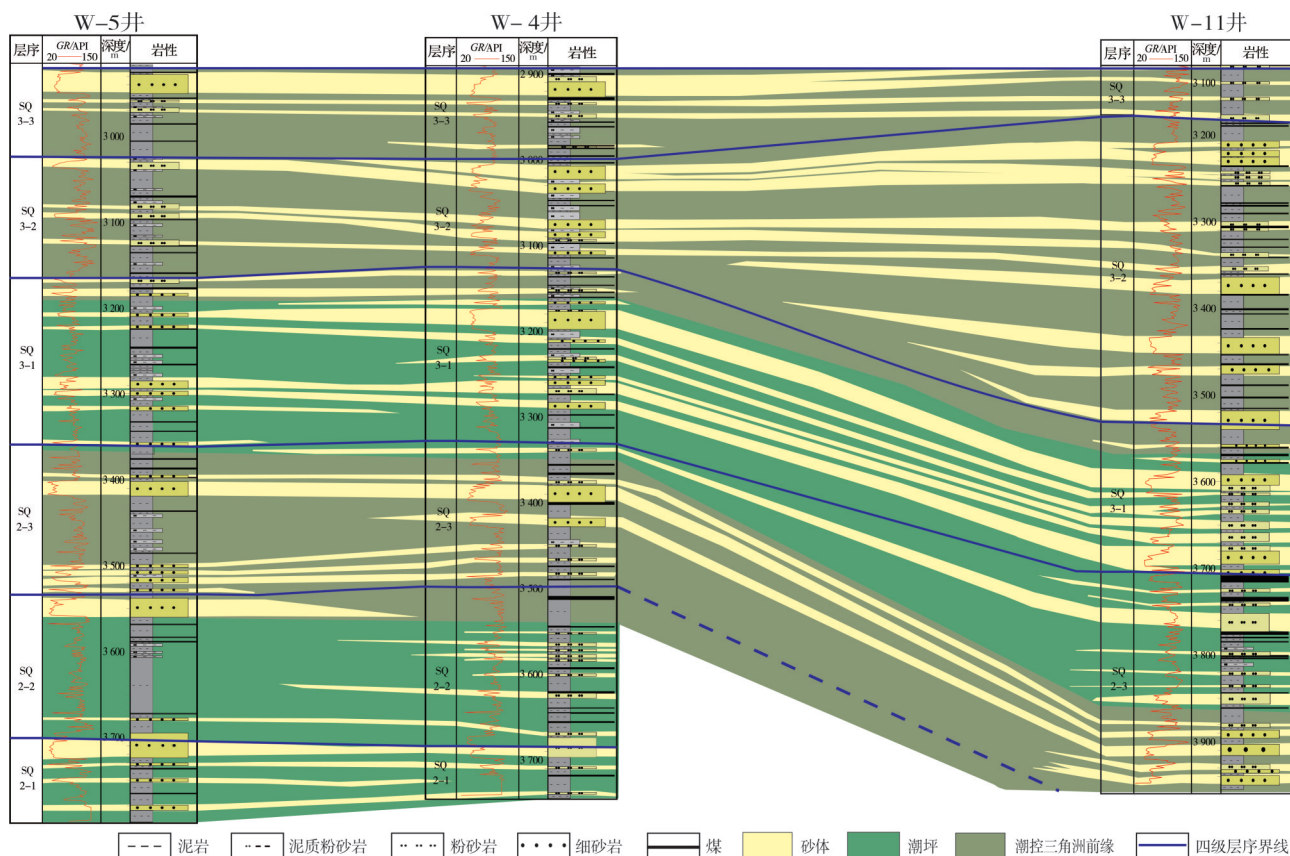


图10 西湖凹陷W井区平湖组连井沉积相对比剖面

Fig. 10 Sedimentary facies contrast section of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag

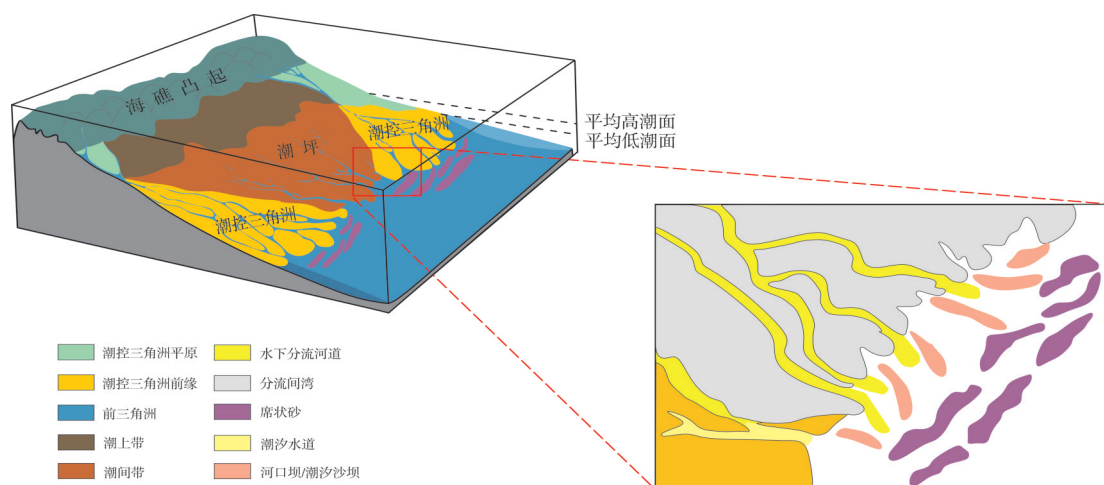


图 11 西湖凹陷 W 井区平湖组沉积模式图

Fig. 11 Sedimentary pattern diagram of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag

向潮汐流和河流洪水的冲刷与改造作用影响,主要发育水下分流河道和分流间湾。在潮汐作用的影响之下,河流带来的沉积物在河口前方被改造形成河口坝,河口坝平行或近似平行于潮流方向,分布于水下分流河道的两侧。席状砂的分布也出现了明显的变化,呈现出平行于岸线的砂脊状。

从深海至内陆地区,潮控三角洲沉积物粒度由细变粗。由前三角洲至三角洲前缘,沉积物中沉积构造由水平层理逐渐演化为双黏土层等潮汐层理以及大型交错层理。至三角洲平原,沉积物多以砂质沉积为主,反映水动力条件逐渐变强。潮坪沉积中潮间带叠置于潮下带沉积之上,其中砂坪位于最底部,混合坪位于砂坪之上,其上覆盖泥坪沉积,由此形成向上逐渐变细的潮坪沉积层序,其间夹有规模不等的潮汐水道沉积。自下而上,沉积物粒度不断变细,水动力减弱,泥质含量增加,层理规模变小。

5 结 论

(1)对东海陆架盆地西湖凹陷 W-1 井、W-4 井、W-5 井、W-11 井平湖组岩心的精细描述表明,研究区主要发育双黏土层、韵律层理、透镜状层理、脉状层理、羽状交错层理、生物扰动构造、软沉积物变形构造、沙纹层理、大型板状交错层理、中型板状交错层理、小型板状交错层理、煤层等沉积构造,发育 3 种含砾砂岩相、7 种砂岩相、7 种粉砂岩相和 4 种泥岩相共 21 种岩石相类型。

(2)西湖凹陷西斜坡平湖组主要发育潮控三角洲与潮坪沉积,可进一步划分为潮控三角洲前缘、潮上带和潮间带等 3 种亚相,以及水下分流河道、席

状砂、河口坝、分流间湾、沼泽、砂坪、混合坪、泥坪和潮汐水道等 9 种微相。

(3)在沉积体系分析的基础上,结合经典潮汐沉积模式与现代潮汐沉积考察,建立了研究区潮控三角洲—潮坪沉积模式。研究区平湖组受潮汐作用控制强烈,潮坪沉积发育于潮控三角洲两侧。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 张建培,徐发,钟韬,等.东海陆架盆地西湖凹陷平湖组—花港组层序地层模式及沉积演化[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(1):35-41.
- [4] 魏恒飞,陈践发,郭旺,等.西湖凹陷平湖组层序地层划分和聚煤特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(3):669-679.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 吴嘉鹏,万丽芬,张兰,等.西湖凹陷平湖组岩相类型及沉积相分析[J].岩性油气藏,2017,29(1):27-34.
- [9] 李祥权,刘金水,陆永潮,等.东海陆架盆地西湖凹陷花港组原型盆地性质厘定[J].地球科学,2018,43(2):502-513.
- [10] 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.
- [11] 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
- [12] 肖晓光,侯国伟,张武,等. 西湖凹陷平湖组低渗储层成岩环境及孔隙演化[J]. 海相油气地质, 2021, 26(1): 60-70.
- [13] 胡求红,张昌民,侯国伟,等. 马尔科夫链分析在东海陆架盆地花港组沉积微相分析中的应用[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 7-20.
- [14] 汪俊伟,刘江艳,侯国伟,等. 西湖凹陷古近系花港组风暴沉积研究[J]. 地质与资源, 2018, 27(4): 360-365, 395.
- [15] 夏文杰. 陆源碎屑潮汐沉积的判别标志[J]. 石油实验地质, 1982, 4(4): 285-293.
- [16] 陈昌明,陈景山. 华北地台晚前寒武纪潮汐沉积[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(2): 135-141, 195-196.
- [17] 毛庆言,尚凯,吕海涛,等. 满加尔坳陷西南部柯坪塔格组下段潮汐沉积特征[J]. 断块油气田, 2014, 21(4): 420-423.
- [18] 孙娟娟,韦龙明,毛欣茹,等. 风暴与潮汐环境下的海滩表层沉积物特征对比: 以青岛汇泉湾海滩为例[J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35(4): 817-822.
- [19] CHAUMILLON E, Fénies H, BILLY J, et al. Tidal and fluvial controls on the internal architecture and sedimentary facies of a lobate estuarine tidal bar (The Plassac Tidal Bar in the Gironde Estuary, France)[J]. Marine geology, 2013, 346: 58-72.
- [20] CHOI K S, DALRYMPLE R W. Recurring tide-dominated sedimentation in Kyonggi Bay (west coast of Korea): similarity of tidal deposits in Late Pleistocene and Holocene sequences[J]. Marine geology, 2004, 212: 81-96.
- [21] 吴和源. 潮汐沉积体系中的古潮汐信号: 以豫西元古界鲁山剖面为例[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(1): 1-11.
- [22] 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.
- [23] 侯云东,陈安清,赵伟波,等. 鄂尔多斯盆地本溪组潮汐—三角洲复合砂体沉积环境[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2018, 45(4): 393-401.
- [24] 李众. 东海西湖凹陷孔雀亭气田平湖组砂体微相及展布分析[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2018.
- [25] 江瀚,张尚锋,杜家元,等. 珠江口盆地惠州凹陷A井珠海组潮汐沉积[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(2): 53-56, 166.
- [26] 张志垚,张昌民,侯国伟,等. 东海盆地某凹陷P井区平湖组沉积微相及沉积模式[J]. 地质与资源, 2020, 29(2): 142-151, 160.
- [27] 周倩羽,沈文超,张信,等. 西湖凹陷古近系平湖组聚煤环境特征及模式[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2016, 33(1): 105-107, 112.
- [28] AVANI R, PAVELI D, Pécskay Z, et al. Tidal deposits in the Early Miocene Central Paratethys: the Vučji Jarek and Čemernica members of the Macelj Formation (NW Croatia)[J]. Geologia croatica, 2021, 74(1): 41.
- [29] PERIGNON M, ADAMS J, OVEREEM I, et al. Dominant process zones in a mixed fluvial - tidal delta are morphologically distinct[J]. Earth surface dynamics, 2020, 8(3): 809-824.
- [30] BECK T M, WANG Ping, LI Honghai, et al. Sediment bypassing pathways between tidal inlets and adjacent beaches[J]. Journal of coastal research, 2020, 36(5): 897-914.
- [31] YAN Dada, Wünnemann B, GAO Shu, et al. Early Holocene tidal flat evolution in a western embayment of East China Sea, in response to sea level rise episodes[J]. Quaternary science reviews, 2020, 250: 1-15.

编辑: 张润合

Tidal depositional model of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

WANG Zeyu, XU Qinghai, HOU Guowei, ZHANG Changmin, ZHU Rui, LIU Siqi

Abstract: A large number of tidal deposits are developed in the Pinghu Formation in Xihu Sag of the East China Sea Shelf Basin, which has great potential for oil and gas exploration. In this paper, core and logging data are used to analyze the lithofacies and sedimentary microfacies of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag, and comparative sedimentology study is conducted through modern sedimentary investigation in Rudong—Dongtai coastal area in Southeast Jiangsu Province, then the tidal sedimentary characteristics and development law of Pinghu Formation in the study area are clarified, and the sedimentary model is established. The results show that a set of tidal-controlled delta-tidal flat depositional systems are developed in the Pinghu Formation in the study area, and the sedimentary subfacies mainly include delta front, supra-tidal zone and intertidal zone. Nine types of sedimentary microfacies, including underwater distributary channel, interdistributary bay, estuary bar, sheet sand, swamp, mud flat, sand flat, mixed flat, and tidal channel are further identified. Based on the analysis of the sedimentary system, a tidal delta-tidal flat sedimentary model in the study area is established, which provides reference and guidance for tidal sand body prediction and oil and gas exploration of Pinghu Formation.

Key words: tidal deposition; sedimentary microfacies; sedimentary model; Pinghu Formation; Xihu Sag; East China Sea Shelf Basin

WANG Zeyu, First author: Graduate Student, mainly engaged in sedimentary reservoir research. Add: Yangtze University, No. 111 Daxue Rd., Caidian District, Wuhan, Hubei 430100, China