



东海盆地西湖凹陷南部花港组上段浅水曲流河三角洲发育特征

陈春峰, 陈忠云, 万延周, 陈建文, 徐东浩, 冯桢鸣, 俞伟哲, 姜 雪

Shallow meandering river delta in the Huagang Formation in the southern Xihu Sag, East China Sea Basin

CHEN Chunfeng, CHEN Zhongyun, WAN Yanzhou, CHEN Jianwen, XU Donghao, FENG Zhenming, YU Weizhe, and JIANG Xue

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2024040801>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于灰色理论指导的储层构型半定量表征及优质储层预测—以西湖凹陷A构造花港组H3砂层组为例](#)

Semi-quantitative study on reservoir configuration in grey theory—A case study of H3 sand unit of Huagang Formation in A Structure, Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2022, 42(6): 162-172

[西湖凹陷Y构造花港组气藏特征及成藏主控因素](#)

Characteristics of gas reservoir and controlling factors for gas accumulation in the Huagang Formation in Y Structure, Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 174-182

[东海盆地西湖凹陷天台反转带花港组地层水地球化学特征及其成因](#)

Geochemistry and genesis of the formation water in Huagang Formation of the Tiantai Inversion Zone, the Xihu Depression of the East China Sea Basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(3): 62-71

[东海陆架盆地N气田花港组储层特征及分类评价](#)

Characteristics and classification of the Paleogene reservoirs in Huagang Formation of Gas Field N, East China Sea Basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 166-172

[东海陆架盆地西湖凹陷平湖斜坡带平湖组煤系地层地震沉积学研究](#)

Seismic sedimentological analysis of coal stratigraphy of Pinghu Formation in the Pinghu slope belt, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

海洋地质与第四纪地质. 2023, 43(4): 140-149

[东海西湖凹陷孔雀亭地区平湖组沉积相演变及其主控因素分析](#)

Facies evolution and its controlling factors of the Pinghu Formation in the Kongqueting area of Xihu Depression, the East China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2022, 42(2): 119-130



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈春峰, 陈忠云, 万延周, 等. 东海盆地西湖凹陷南部花港组上段浅水曲流河三角洲发育特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(6): 175-185.
CHEN Chunfeng, CHEN Zhongyun, WAN Yanzhou, et al. Shallow meandering river delta in the Huagang Formation in the southern Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(6): 175-185.

东海盆地西湖凹陷南部花港组上段浅水曲流河三角洲发育特征

陈春峰¹, 陈忠云¹, 万延周¹, 陈建文², 徐东浩¹, 冯桢鸣¹, 俞伟哲¹, 姜雪¹

1. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

2. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237

摘要:针对东海盆地西湖凹陷南部花港组上段 H5 及 H4 砂组沉积相研究中的难点, 本文建立了针对浅水三角洲划分相带的新方法及研究流程, 即“单井定相-平面描砂-寻岸划线-分区划带”。研究区具有形成浅水曲流河三角洲的地质条件并形成了独特的不同相带交互沉积区, 在花港组上段 H5 及 H4 砂组沉积时期, 盆内地形宽缓, 丰水期与枯水期频繁交替出现, 形成了研究区中部三角洲平原相沉积和三角洲前缘相沉积在较小的沉积旋回内交替出现。在丰水期, 研究区中部以三角洲前缘相、浅湖相沉积为主, 在枯水期, 研究区中部以三角洲平原相沉积为主。以浅水曲流河三角洲沉积模式为指导, 在研究区中部识别了大量河道砂体, 这些砂体与该区的大型构造脊相迭合形成了众多有勘探潜力的构造-岩性复合圈闭, 其中部分圈闭经钻探获得了油气发现。

关键词:浅水曲流河三角洲; 交互式沉积; 砂体展布; 西湖凹陷; 花港组

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2024040801

Shallow meandering river delta in the Huagang Formation in the southern Xihu Sag, East China Sea Basin

CHEN Chunfeng¹, CHEN Zhongyun¹, WAN Yanzhou¹, CHEN Jianwen², XU Donghao¹, FENG Zhenming¹, YU Weizhe¹, JIANG Xue¹

1. Shanghai Branch of CNOOC China Ltd., Shanghai 200335, China

2. Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266237, China

Abstract: In response to the difficulties in studying the sedimentary facies of the H5 and H4 sand formations in the upper section of the Huagang Formation in the southern Xihu Sag of the East China Sea Basin, we established a new method and process for dividing facies zones in shallow water deltas, namely "single well facies determination - planar sand tracing - shoreline tracing - zoning and delineation" using seismic data and core data. Results shows that the study area had the geological background for the formation of shallow meandering river delta, in which a unique alternating sedimentary zone of different facies were formed. During the deposit period of the H5 and H4 sand groups, the terrain in the basin was wide and gentle, and water level changed frequently between flood season and dry season, resulting in the alternating deposits of delta plain facies and delta front facies in a short period in the central part of the study area. In the flood season, delta front and shallow lake sediments developed in the central part of the study area, while in dry season, delta plain developed. Under the guide of sedimentary model of shallow meandering river delta, many of river channel sand bodies were found in the central part of the study area. The channel sandstone bodies overlap on the large anticline structures, forming numerous litho-structural composite traps with great exploration potential. The research results were confirmed by new oil and gas discoveries.

Key words: shallow meandering river delta; alternating deposit; sand body distribution; Xihu Sag; Huagang Formation

东海盆地西湖凹陷是中国近海近年来油气储量增长较快的重要探区之一(图 1), 近年来针对岩性目标的勘探逐渐向凹陷南部的中央区域扩展。

根据以往的研究成果, 花港组在凹陷边缘砂岩较为发育, 而在凹陷中间则以发育薄层砂岩及湖相泥岩为主, 在凹陷的中央区域勘探面临着较大的储层风

资助项目: 中海石油(中国)有限公司上海分公司科技项目“西湖凹陷构造运动对大型圈闭发育和大规模油气运聚的控制”

作者简介: 陈春峰(1972—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事油气勘探地质研究, E-mail: chenclf@cnooc.com.cn

通讯作者: 陈建文(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事海洋油气资源调查评价与研究, E-mail: jwchen1012@126.com

收稿日期: 2024-04-08; 改回日期: 2024-06-02. 周立君编辑

险。本研究的主要目的是综合分析各项资料,重新划分该区的沉积相带,在研究区寻找规模性砂体。

1 研究区概况

西湖凹陷总面积约4.3万km²,是东海盆地内规模最大的凹陷(图1)。该凹陷以南为钓北凹陷,以北为福江凹陷,西侧为海礁隆起,东侧为钓鱼岛隆褶带^[1]。西湖凹陷在新生代期间经过断陷-拗陷-区域沉降阶段的演化^[2-3],发育成为一个大型凹陷,其内部可分为西部斜坡带、中部洼陷带和东部断阶带^[4-5]。本次研究区域位于西湖凹陷的中南部(图1)。

西湖凹陷的基底为前新生界的沉积岩、变质岩及火成岩^[6-7]。在新生代,该区发育古近系、新近系,古近系包括八角亭组、宝石组、平湖组和花港组^[8-9]。花港组分为花下段(分为H12—H6共7个砂组)、花上段(分为H5—H1共5个砂组)(图2)。本次研究的H5、H4砂组属于花港组上段的SQ3层序,H5为低位一水进期沉积,H4为高位期沉积^[10-12]。

前人对西湖凹陷中南部花港组的沉积相做过

较多的研究。陈琳琳^[12-14]认为西湖凹陷的南部发育河流、三角洲及湖泊沉积体系。于兴河^[10]及李顺利等^[15]认为在花港组沉积时期西湖凹陷中部主要发育短轴辫状河三角洲,凹陷南部为海湾环境。何苗等^[16-17]认为在花港组沉积时期,源自西部斜坡的分支河流体系在凹陷中心汇入轴向河流后在凹陷南部入湖,认为凹陷南部主要发育湖相沉积。但是,近几年来通过新的钻井在凹陷南部原认为是花港组上段湖相沉积区的中央带发现了水道砂体及薄煤层,这些发现引起了对该区原有沉积相认识的质疑。蔡佳等^[18]认为西湖凹陷花港组下段发育大型浅水三角洲,凹陷中部仅有极少的区域发育浅湖,虽然该研究没有涉及花港组上段,但提出了一个有借鉴意义的新观点。

2 研究方法

研究区的H5或H4砂组存在多种沉积相交互

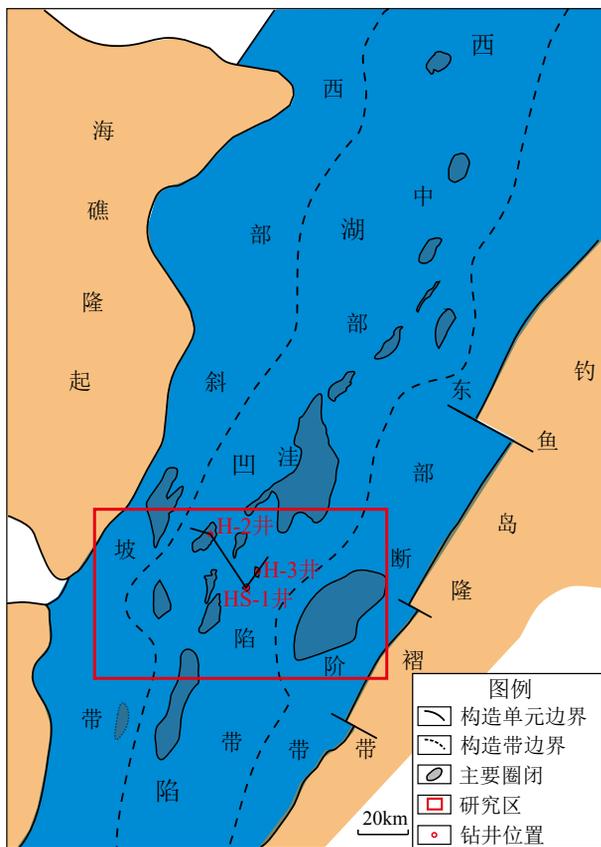


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the drills and geological framework of the study area

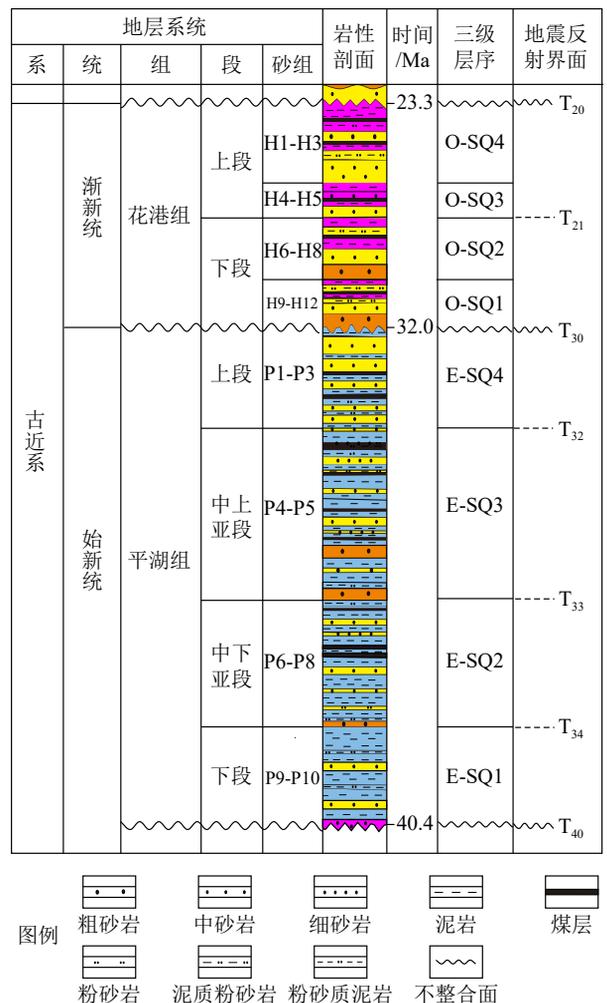


图2 研究区地层综合柱状简图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the study area

发育的现象,用传统方法很难对单砂组进行平面沉积相做图,因此,本文创新提出了针对浅水三角洲相带划分的新方法及新流程“四步法”,即“单井定相—平面描砂—寻岸划线—分区划带”,该方法先进行单井沉积相划分,要求结合岩芯资料尽可能进行沉积微相初步划分;第二步分析砂体平面展布及砂体类型,利用三维地震和钻井资料落实主力砂层的砂体平面展布形态,根据砂体形态及钻遇砂体的钻井资料划分砂体的沉积微相及砂体类型;第三步根据砂体形态及成因类型确定丰水期和枯水期的古岸线;第四步根据古岸线的变化划分各沉积相带的主要发育区。

3 单井沉积相划分

在西湖凹陷中南部,三维地震资料覆盖了大部分区域,但花上段 H5、H4 砂组的取芯资料不多,仅在 H-2 井及 HS-1 井取芯(图 1),本文根据这两口井的岩芯资料并结合 H-3 井的岩性、电测资料分析花上段 H5 及 H4 砂组的单井沉积相。

3.1 H-2 井单井沉积相

3.1.1 H-2 井 H5 砂组沉积相

H-2 井在 H5 砂组取得 1 个岩芯(图 3—4)。该段岩芯整体为灰白色细砂岩,中上部夹约 1.2 m 的深灰色泥岩。岩芯中 3539.1~3541.35 m 和 3530.2~3532.3 m 为三角洲前缘河口坝微相,这两段均为呈反韵律的不等粒砂岩段,底部灰黑色泥质粉砂岩中见浪成沙纹、生物潜穴,中部发育平行层理,顶部见板状交错层理。岩芯其他砂岩段为三角洲前缘分流河道微相,砂岩呈明显的正韵律,底部含砾中粗砂岩交错层理发育,见泥砾(图 4d),中部砂岩中多见平行层理及板状交错层理,正韵律顶部为灰黑色泥质粉砂岩、泥岩,多发育浪成沙纹。根据岩芯中总结的各微相特征对 H5 砂组的沉积相带进行划分,从岩性与 GR 曲线特征看(图 3 左图),H5 砂组底部为正韵律砂岩,向上在取芯段开始有反韵律砂岩出现,再向上可见多个正韵律沉积层。H-2 井在 H6 砂组发育 1 层厚约 1.0 m 的煤层(图 3 左图),对于煤层的形成环境,彭迎迎等^[9]认为花港组的煤层形成于三角洲平原的河漫沼泽。根据本区资料分析,H5 砂组沉积早期的古水深普遍要比 H6 砂组沉积时期要小,因此,本井 H5 砂组底部的巨厚层正韵律粗粒砂岩与 H6 砂组的煤层段为连续沉积,其相带为三角洲平原的水道微相。H5 砂组中上部正韵

律砂岩与深灰色泥岩间互发育,砂岩为三角洲前缘相分流河道沉积,泥岩为三角洲前缘分流间湾沉积。

3.1.2 H-2 井 H4 砂组沉积相

该井在 H4 砂组没有取芯(图 3 左图),但可以依据测井曲线及岩性特征与 H5 砂组进行类比分析。H4 砂组中下部由多个反韵律砂层和深灰色泥岩组成,上部为正韵律砂层及灰色泥岩。根据区域资料,H4 砂组为湖侵期沉积,其沉积水深比 H5 砂组略大,本井 H4 砂组中下部以发育三角洲前缘相河口坝、分流河道砂岩及分流间湾泥岩为主。与 H-2 井相距 1 km 的邻井中 H4 砂组上部发育少量褐色泥岩,综合分析,本井 H4 砂组上部发育三角洲平原相正韵律河道砂及分流间湾微相泥岩沉积。

3.2 HS-1 井单井沉积相

HS-1 井 H5 砂组及 H4 砂组地层厚约 185 m,主要为深灰色、褐灰色泥岩与灰白色细砂岩、粉砂岩呈不等厚互层(图 5 左图)。

3.2.1 HS-1 井 H5 砂组沉积相

在该井 H5 砂层取得岩芯 1 个(岩芯描述见图 5 中右图,照片见图 4)。该段岩芯底部为深灰色泥岩夹粉砂岩条带,发育脉状层理、变形构造,泥岩向上碳质增高,最上部变为碳质泥岩、薄层镜煤(图 4a,图 5 右图),泥岩段为三角洲前缘分流间湾沉积,而泥岩顶部的碳质泥岩、煤则是在水退期间三角洲平原河漫沼泽形成的。向上主要为细砂岩及少量中砂岩,整体粒序变化不明显,砂岩中发育板状交错层理、平行层理、沙纹层理(图 4b-c),该砂岩段主要为三角洲前缘水下分流河道沉积。该井 H5 砂组主要由细砂岩、粉砂岩与深灰色、褐灰色泥岩互层组成(图 5 中左图),底部砂层具正韵律,向上变为反韵律。在该井 3640~3650、3696~3705 m 出现褐灰色泥岩,显示局部发育暴露环境的三角洲平原相沉积。综合岩芯及钻井资料,认为 H5 砂组下部发育三角洲平原相,上部发育三角洲前缘相。

3.2.2 HS-1 井 H4 砂组沉积相

HS-1 井 H4 砂组主要是深灰色、褐灰色泥岩夹细砂岩、薄层粉砂岩(图 5 中左图),H4 砂组中下部深灰色泥岩发育,为三角洲前缘沉积,其中正韵律段砂岩为水道沉积,反韵律段砂岩为河口坝沉积。H4 砂组上部 3520~3525、3531~3533 m 出现褐灰色泥岩,为暴露环境的三角洲平原相沉积。

综上,HS-1 井 H5 砂组主要为三角洲前缘相及平原相沉积,H4 砂组以三角洲前缘相沉积为主,局部发育少量三角洲平原相沉积。

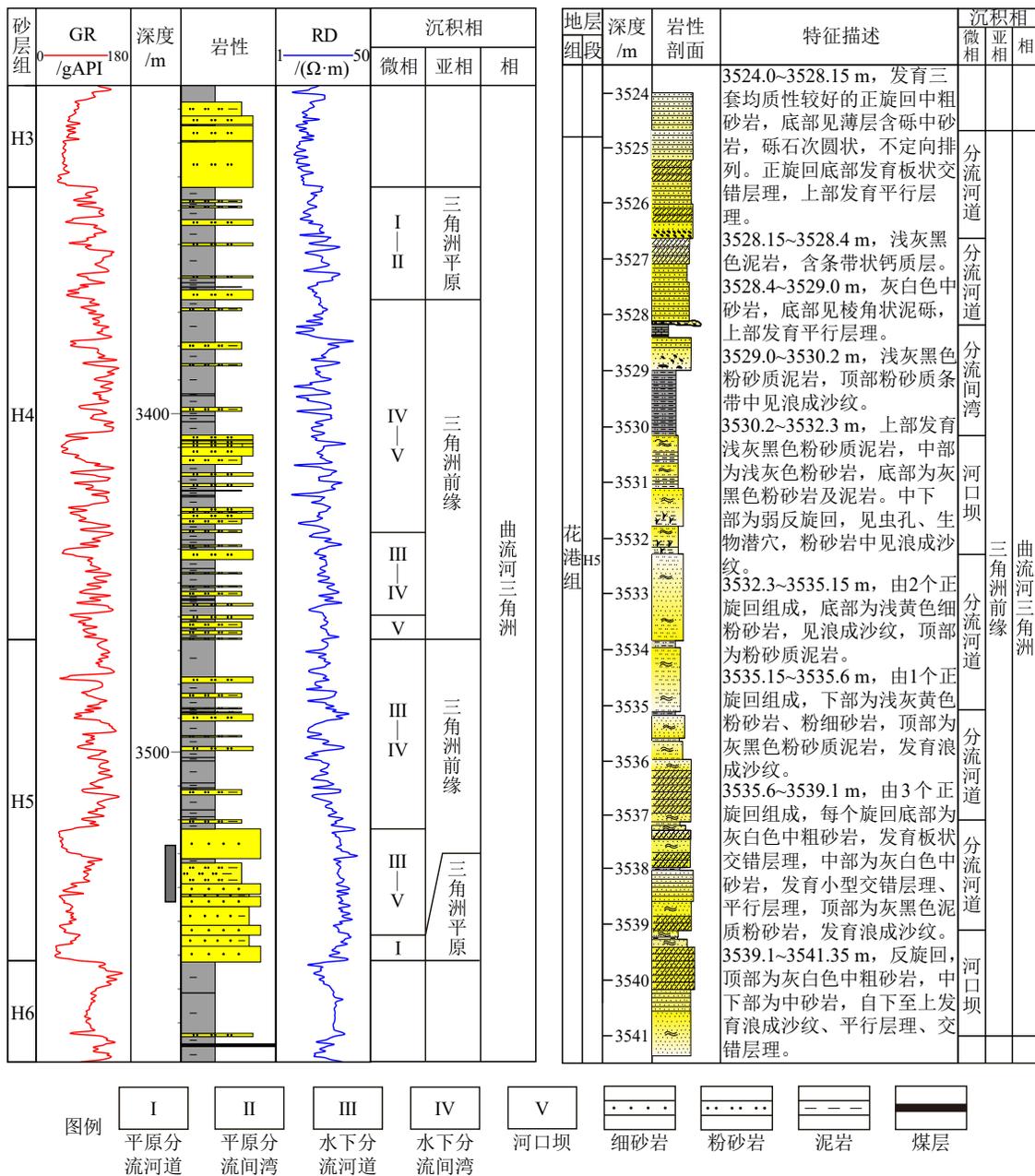


图3 H-2井岩芯(右图)及H4—H5砂组(左图)沉积相分析图
右图岩芯深度为3524~3541.35 m, 对应左图井深3527~3544.35 m

Fig.3 Sedimentary facies of H4-H5 sand groups of well H-2

3.3 H-3井单井沉积相

H-3井H5及H4砂组厚约225 m(图6), 没有取芯。该井H5砂组发育深灰色泥岩、绿灰色泥岩与薄层粉砂岩、细砂岩互层。H5砂组底部发育绿灰色泥岩及正韵律细砂岩, 为三角洲平原分流水道及分流间湾沉积(图6); 中部发育深灰色泥岩及反韵律粉砂岩, 为三角洲前缘分流间湾及河口坝沉积; 上部发育深灰色泥岩及正韵律细砂岩, 为三角洲前缘分流间湾及分流河道沉积。该井H4砂组的岩性

组合及韵律特征与H5砂组基本相同, H4砂组下部发育深灰色泥岩、绿灰色及正韵律细砂岩, 为三角洲前缘分流间湾及分流河道沉积, 可能局部发育少量三角洲平原分流间湾沉积; H4砂组中部发育反韵律薄层粉砂岩, 为河口坝沉积; H4砂组上部发育灰色泥岩及正韵律细砂岩, 为三角洲平原相沉积。

3.4 沉积相联井对比

横向上对三口井的沉积相进行联井对比(图7)。H5砂组底部及H4砂组顶部在三口井中主要发育

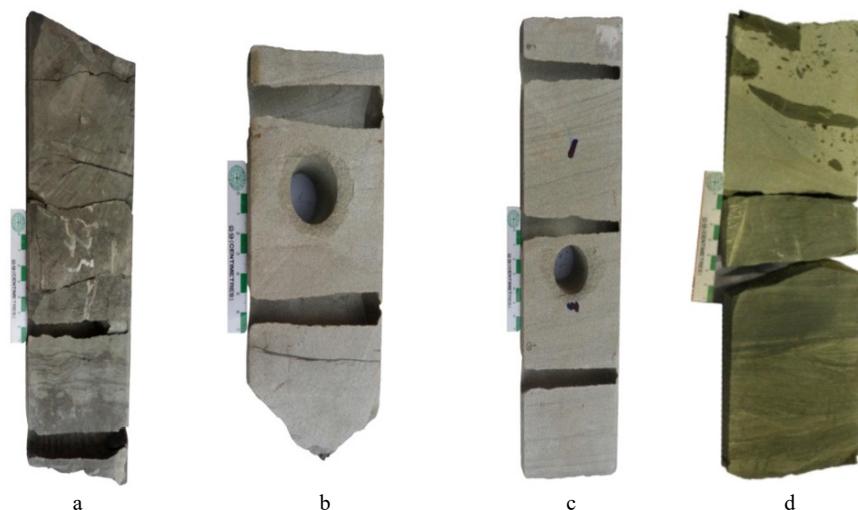


图 4 H-2 井及 HS-1 井岩芯照片

a: HS-1 井岩芯, 3661.3~3661.6 m, 灰黑色泥岩, 无明显层理, 未见植物碎屑; b: HS-1 井岩芯, 3661~3661.2 m, 灰白色中细砂岩, 分选好, 发育浪成沙纹; c: HS-1 井岩芯, 3660.7~3661 m, 中细砂岩, 砂质较纯, 发育低角度板状交错层理; d: H-2 井岩芯, 3528.68~3529 m, 下部灰黑色泥质粉砂岩, 发育脉状层理, 向上突变为灰白色中细砂岩, 夹棱角状泥砾, 泥砾呈定向排列。

Fig.4 Photos of cores of wells H-2 and HS-1

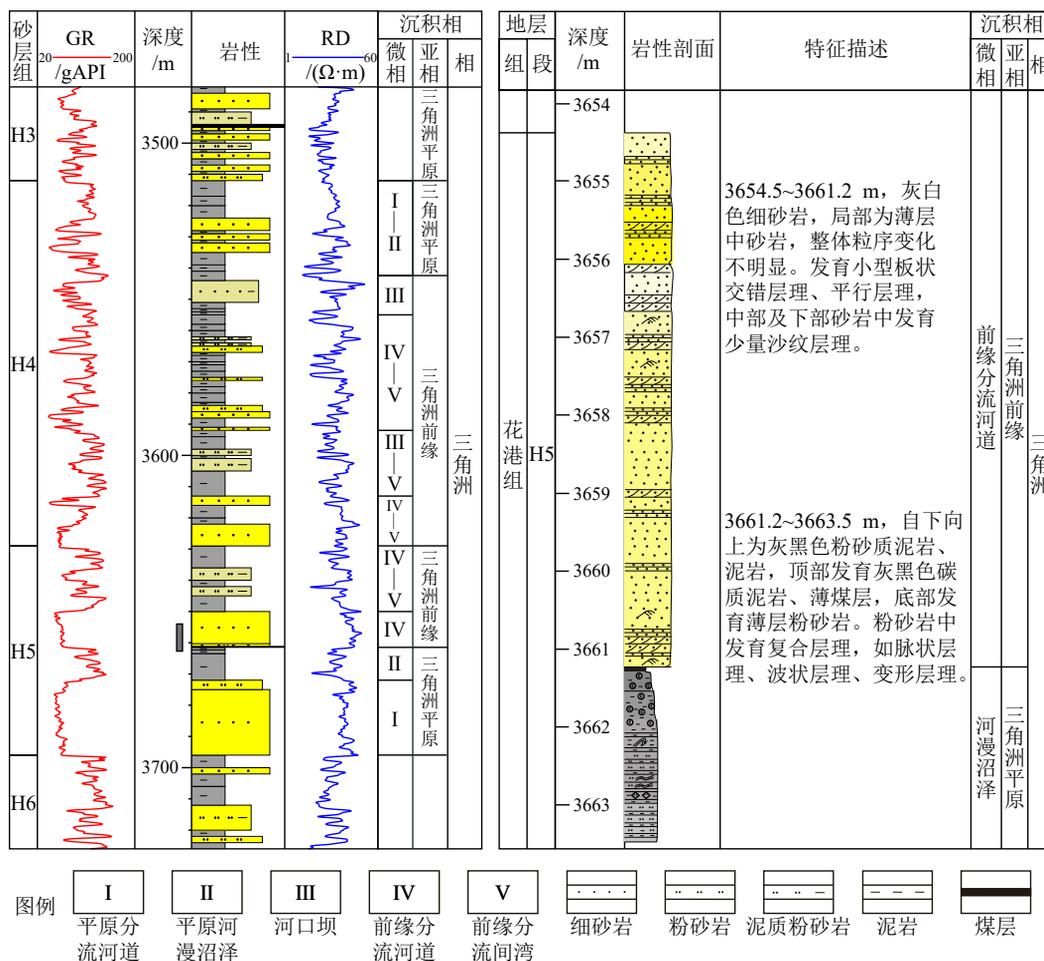


图 5 HS-1 井岩芯 (右图) 及 H4—H5 砂组 (左图) 沉积相分析图

Fig.5 Sedimentary facies of H4-H5 sand groups of Well HS-1

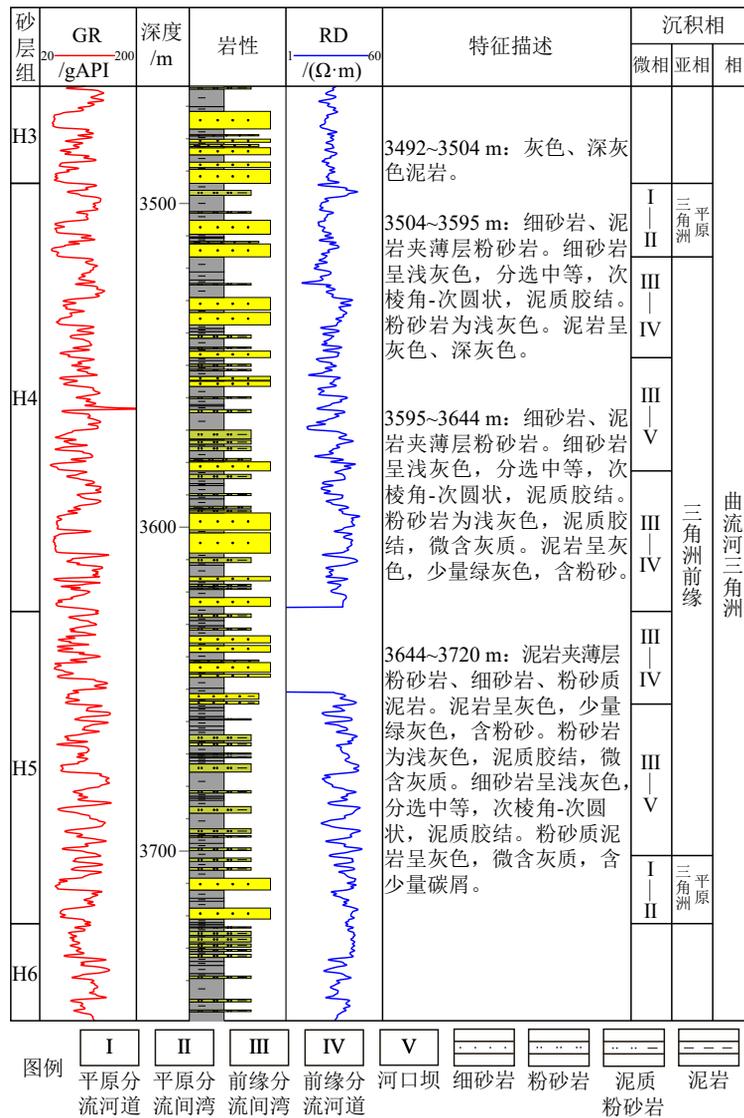


图 6 H-3 井 H4—H5 砂组沉积相分析图

Fig.6 Sedimentary facies of H4-H5 sand groups of Well H-3

三角洲平原相, 正韵律分流河道砂、分流间湾绿灰色泥岩-沼泽相泥岩、煤层均较发育。从 H5 砂组中上部到 H4 砂组的下部及中部, 以发育三角洲前缘相沉积为主, 正韵律前缘分流河道砂岩、反韵律河口坝砂岩及深灰色前缘分流间湾相泥岩均较发育。

4 砂体展布与古岸线变化

鉴于 H5 砂组下部及 H4 砂组上部为三角洲平原相, 其余地层段以三角洲前缘相为主, 因此, 本文选取 H5 砂组下部、H4 砂组中部为例进行砂体展布与平面沉积相研究。

为了更准确地分析砂体展布并划分砂体的成因类型, 需先分析该区的物源方向。前人研究认为, 西湖凹陷中南部有 3 个物源方向, 一是来自于

凹陷西部的海礁隆起区, 即沉积物从研究区的西部向凹陷中央搬运; 二是轴向物源, 即从凹陷的北部由北向南搬运沉积物, 三是来自于凹陷东部的钓鱼岛隆褶带物源, 由隆褶带上发育的河流向西搬运沉积物^[20-23]。

研究区内的砂体识别比较困难, 通过多次试验最终确定发现地震中远道 AVO 属性能较好地刻画砂体。本次沿 H-2 井 H5 砂组下部主力砂层顶面、H4 砂组中部追踪并成图(图 8-9)。

4.1 H4 砂组砂体展布与古岸线分析

(1) 研究区 H4 砂组砂体展布。研究区西部地层厚度较小, 为沉积时古斜坡, 研究区东北部为当时的沉积中心, 水深最大, 古河流的方向是沿西部盆缘先由北向南流, 再由西南向东北方向流。沿

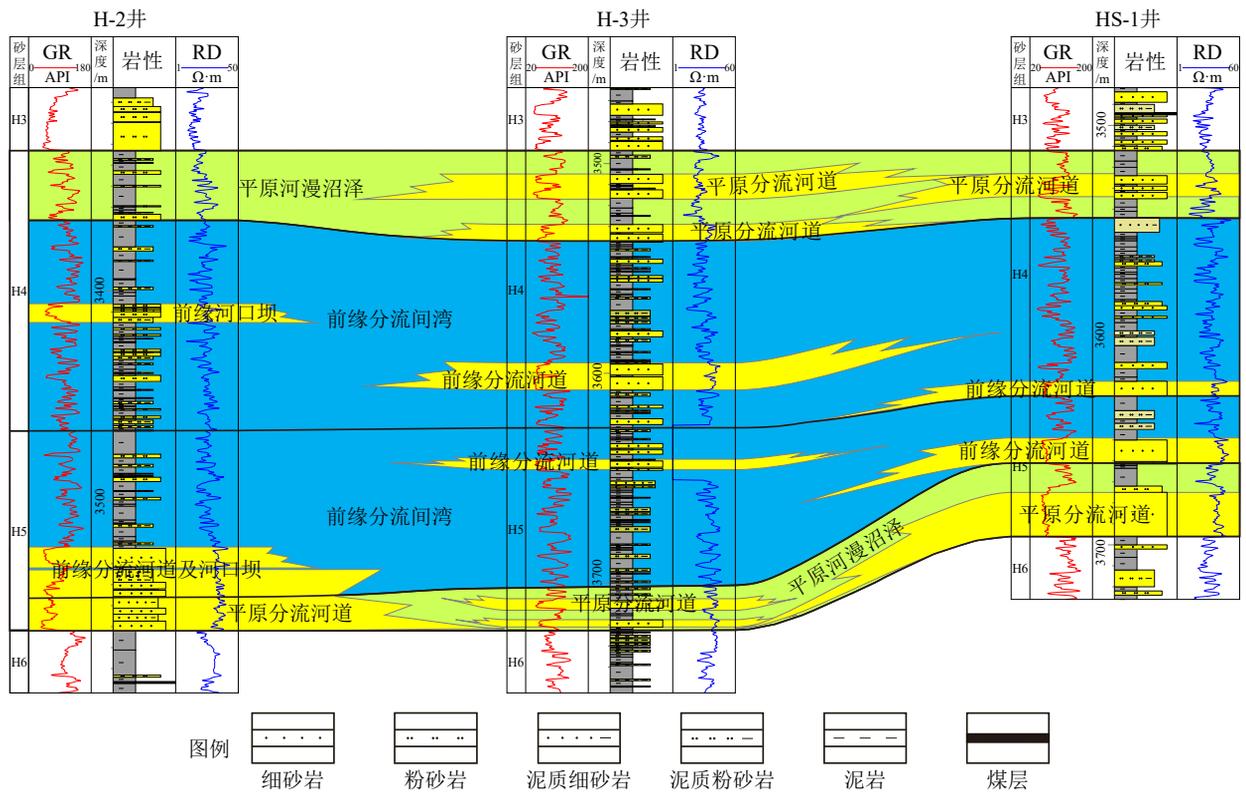


图 7 研究区连井沉积相剖面图

Fig.7 Sedimentary facies of cross section between wells in the study area

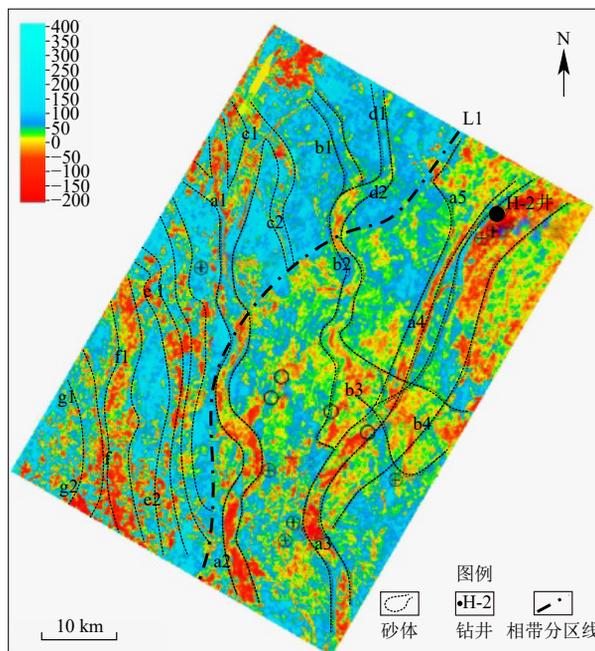


图 8 研究区 H4 砂组中部 AVO 梯度属性平面图

Fig.8 Seismic AVO of middle H4 in the study area

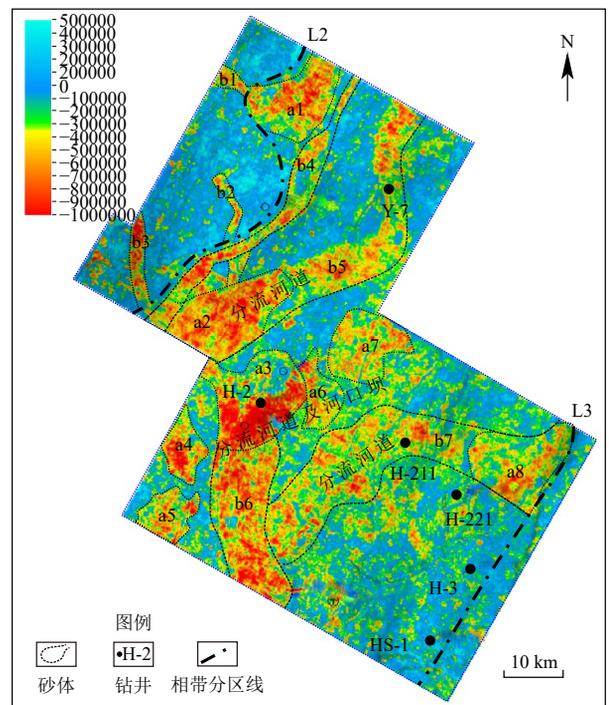


图 9 研究区 H5 砂组下部 AVO 梯度属性平面图

Fig.9 Seismic AVO (amplitude versus offset) of lower H5 in study area

H4 砂组中部 H-2 井 3407 m 厚层粉砂岩顶面、H-3 井 3570 m 砂岩顶面、HS-1 井 3584 m 砂岩顶面沿层提取属性作图(图 8), 提取属性的地层厚度约为 20 m。在图 8 中, 条带状振幅异常为分流河道砂体, 朵叶

状的振幅异常为三角洲前缘河口坝砂岩与分流河道砂岩的复合体, 团块状振幅异常为残留的小型河

口坝, 或为浅湖滩坝砂体。条带状振幅异常 a1-a2-a3-a4 为一条曲流河形成的砂体, 自北向南延伸, 再由南向东北方向入湖, 在 a5 处形成三角洲朵叶体(下文称河流 A); 条带状振幅异常 b1-b2 也为曲流河的河道砂体, 该条河流在 b3、b4 附近形成三角洲朵叶体(下文称河流 B)。除此之外, 还有河道砂体 c1-c2、d1-d2、e1-e2、f1-f2、g1-g2 等。在图 8 东部, 还发育大量的朵叶状、团块状三角洲前缘砂体。

(2) H4 砂组沉积期古岸线分析。由河流 A 形成的河流-三角洲沉积时湖岸线在 H-2 井附近(图 8), 由河流 B 形成的河流-三角洲沉积时湖岸线已后退至 b2 与 b3 点之间, 其沉积期湖岸线相对河流 A 时期向西部斜坡方向移动。在图 8 中存在一条 L1 线, 在该线以西主要形成条带状曲流河砂体; 而 L1 线以东, 除了条带状河道砂体之外, 还发育大量朵叶状、团块状砂体, 推测 L1 线为 H4 砂组中部沉积时期最高水位时的湖岸线, 该线以西主要发育三角洲平原沉积, 形成曲流河道砂体; 该线以东, 丰水期发育三角洲前缘沉积, 枯水期湖岸线向东移动, 在 L1 线的东部发育三角洲平原沉积及前缘沉积。由于三角洲前缘所形成的朵叶状、团块状砂体并未在某一区域集中分布, 可见研究区的湖岸线在东西方向上移动频繁, 并未长期固定在某一区域。

4.2 H5 砂组砂体展布与古岸线分析

(1) 研究区 H5 砂组砂体展布。沿 H5 砂组底部 H-2 井 3532 m 厚层粉细砂岩底面、H-3 井 3692 m 泥岩段、HS-1 井 3666 m 泥岩段进行属性提取作图(图 9), 对应三口井中的沉积微相为河口坝砂岩、三角洲前缘分流间湾、三角洲平原河漫沼泽。在图 9 的中西部发育弯曲的条带状河道砂体 b1、b2、b3 及三角洲前缘朵叶状砂体 a1、a2、a3; 图 9 的中东部发育条带状河道砂体 b4、b5、b6、b7 及朵叶状三角洲前缘砂体 a4、a5、a6、a7、a8; 除上述砂体外, 该区还有大量的团块状湖相滩坝砂体发育。

(2) 研究区 H5 砂组沉积期古岸线分析。在图 9 中, 根据砂体的类型可将砂体划分为 3 个区, 边界线为 L2 线及 L3 线。L2 线以西发育条带状河道砂体 b1、b2、b3, 与其相对应发育了三角洲前缘朵叶状砂体 a1、a2、a3, L2 线为 H5 砂组下部沉积期水位最高时形成古湖岸线。沿 L2 线以东为条带状河道砂体与朵叶状三角洲前缘砂体混和发育区, 在枯水期, 水退造成湖岸线向东移动, 这时发育了三角洲平原水道 b5、b6、b7 及三角洲前缘朵叶体 a6、a7、a8, 这时期的河道普遍较宽且呈曲流化。L3 线

为枯水期水位降至最低时的湖岸线, 该线以东主要发育湖相沉积。

5 研究区平面相分布

(1) H4 砂组沉积相带划分。在 H4 砂组中部沉积时期, 在 L1 线以西主要发育三角洲平原弯曲的分流河道砂体(图 8), 为三角洲平原相发育区。在 L1 线以东, 丰水期间发育三角洲前缘砂体, 在枯水期间发育三角洲平原分流河道砂与三角洲前缘砂体, 该区为三角洲平原相与三角洲前缘相交互发育区。

(2) H5 砂组沉积相带划分。在 H5 砂组下部沉积时期, 在 L2 线以西主要发育三角洲平原的分流河道砂体(图 9), 为三角洲平原相发育区。在 L2 线以东及 L3 线以西, 在丰水期间发育三角洲前缘朵叶状砂体; 在枯水期间, 水位降低, 该区形成了三角洲平原河道砂体及前缘相朵叶状砂体, 为三角洲平原相与三角洲前缘相交互发育区。在 L3 线以东, 未见到三角洲河道砂体, 为滨浅湖相发育区。

综合分析 H5 及 H4 砂组的砂体平面展布及其相带, 总结出研究区的沉积相带展布模式(图 10), 研究区的西部边缘和东部边缘为三角洲平原主体区, 在该区内主要发育三角洲平原相, 形成条带状曲流河砂体; 在研究区的中部, 主要是三角洲平原相及三角洲前缘相交互发育区, 在枯水期为三角洲平原相及前缘相, 在丰水期为三角洲前缘相及湖相。

6 曲流河浅水三角洲平面相分布模式及勘探意义

早期研究者认为花港组上段 H5-H4 砂组沉积期西湖凹陷中南部处于湖盆发育中心^[13-17], 研究区的中部砂岩不发育, 但近年来在原来确定的湖相发育区不但发现了水道沉积, 而且发现了薄煤层, 按照传统的沉积相展布模式无法解释此类现象。

前人认为西湖凹陷花港组主要聚煤环境为曲流河下三角洲平原分流间湾沼泽、辫状河下三角洲平原越岸沉积沼泽和滨湖泥炭沼泽^[19,24-25]。在研究区内 3 口井中所发现的薄煤层及反映暴露环境的褐灰色泥岩、灰绿色泥岩与反映水下沉积环境的深灰色泥岩频繁互层, 反映了三角洲平原沼泽沉积环境与三角洲前缘水下环境在短时间内频繁交替出现, 而这种特殊的沉积现象主要是在浅水三角洲沉积环境下形成的。

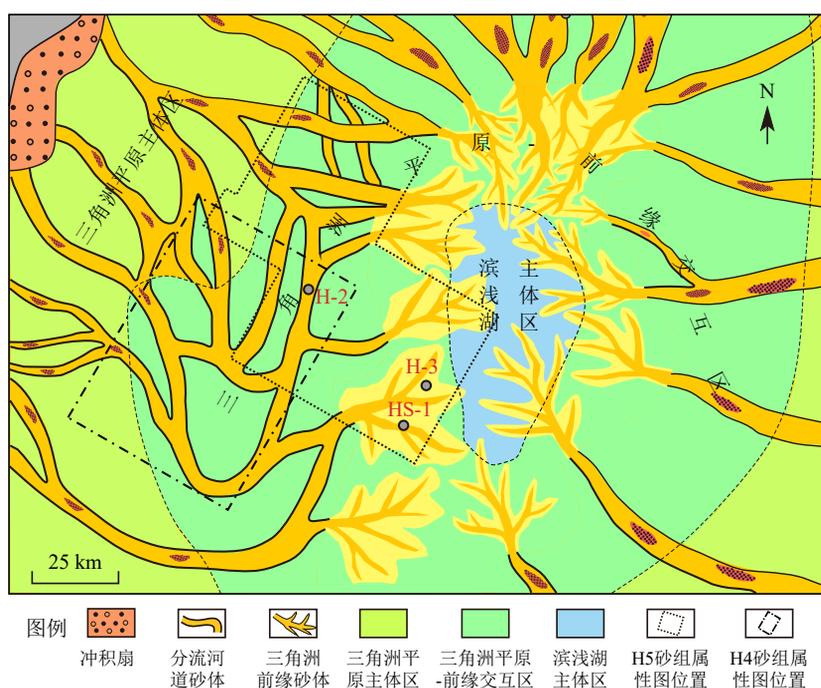


图 10 研究区花港组上段 H4—H5 砂组平面沉积相展布图

Fig.10 Sedimentary facies of H4-H5 sand groups of Huagang Formation in the study area

朱筱敏等^[26]、邹才能等^[27]认为在湖水频繁进退、水体浅的古地理背景下形成浅水三角洲,其主要特征是洪水线-枯水线之间区域长期处于河湖交替环境,同时具有河流和湖泊两种沉积特征。鄱阳湖为一个典型的现代浅水三角洲沉积^[28],该湖的大部分湖区在枯水期成为三角洲平原,形成了河湖频繁交替的沉积现象。

西湖凹陷南部花港组上段沉积期具有发育浅水三角洲的古地理环境。花港组上段 H5 及 H4 砂组沉积时期,该区构造稳定,凹陷内地形宽缓,坡度小于 2° ,水深为 2.0~4.1 m。该时期古气候温暖潮湿,古湖水频繁进退^[18],研究区具备浅水三角洲发育的条件。

从本区的沉积相带横向展布看,研究区花港组上段河湖交互特别发育。一方面,在平面上可以看到在很短的时期形成了三角洲前缘朵叶状砂体与大量的三角洲平原相条带状砂体在研究区中部同时存在的现象(图 9)。另一方面,在研究区钻井中 H5 砂组中上部及 H4 砂组中下部主要发育水下沉积,但也在上述井段发现了枯水期形成的水上沉积,如在 HS-1 井 3662 m 左右发现河漫沼泽相煤层、在 H3 井的 3599~3644 m 发现灰绿色泥岩。由于本次研究提取地震属性的地层厚度约为 20 m,其形成的地质时间较为短暂,因此,从砂体的成因类型上也证实研究区的古水深在短期内曾多次发生

剧烈变化。

朱筱敏等^[26]、邹才能等^[27]认为在浅水三角洲沉积模式下,在湖盆中心区域仍可能发育大量的河道砂体,如大庆长垣水下分流河道砂体可延伸长达 40 km,鄱阳湖赣江三角洲枯水线与洪水线之间的下三角洲平原延伸 10~20 km^[28]。美国密西西比河浅水三角洲的前缘水道延伸长达 40 km^[29]。

受该沉积模式的启发,本研究在西湖凹陷中南部利用三维资料刻画了河道砂体的分布,在 H-2 井以东发现河道砂体 b5、b6、b7、b8 等(图 9),H-2 井以西发现河道砂体 a2、a3、a4 等(图 8),这些河道砂体与大型构造脊相迭合形成了众多的构造+岩性复合圈闭,从而提升了该区的勘探潜力。新的钻井证实这些砂体存在,如在 Y-7 井钻遇河道砂体 b5,为厚 36 m 的细砂岩;河道砂体 b7 在 H-211 井钻遇 12 m 厚的细砂岩,在 H-221 井处钻遇厚 13 m 的细砂岩。这些河道相砂体厚度大,物性好,将研究区中东部从勘探高风险区提升为勘探有利区。在西湖凹陷的其他区域也发育浅水三角洲沉积,这些区域同样为下一步勘探潜力区。

7 结论

(1)研究区发育了浅水曲流河三角洲并形成了特殊的相带展布模式。在花港组上段 H5 及 H4 砂

组沉积时期,研究区内地形宽缓,古湖水频繁进退,具备浅水三角洲发育的地质条件。在沉积相带平面展布上,研究区西部长期处于水面之上,主要发育曲流河三角洲平原沉积;研究区中东部大部分区域处于丰水期岸线及枯水期岸线之间,发育三角洲平原与前缘交互沉积;研究区的中东部局部区域长期处于岸线以下,发育浅湖相沉积及少量三角洲前缘沉积。

(2)研究区中东部发育大量的三角洲平原相砂体和三角洲前缘相砂体并被钻井所证实。在研究区的西部主要发育条带状曲流河相砂体;在研究区中东部,既发育条带状的三角洲平原水道砂体及前缘水道砂体,同时也发育团块状的河口坝砂体、湖相滩坝砂体;在研究区中东部的小范围内,主要发育薄层河口坝砂体、湖相滩坝砂体。

(3)本文建立了针对浅水三角洲相带划分的新方法及新流程:“单井定相—平面描砂—寻岸划线—分区划带”。

参考文献 (References)

- [1] 何新建,唐贤君,蒋一鸣,等. 东海西湖凹陷中新世中晚期断裂活动特征及中浅层勘探启示 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(3): 167-174. [HE Xinjian, TANG Xianjun, JIANG Yiming, et al. Middle-late Miocene fault activity and its petroleum exploration significance of middle-shallow layers in the Xihu Sag, East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(3): 167-174.]
- [2] 陈建文. 东海陆架盆地与松辽盆地的类比分析 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(3): 19-32. [CHEN Jianwen. Analogy analysis of Donghai Shelf Basin and Songliao Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1994, 14(3): 19-32.]
- [3] 李林致,郭刚,祁鹏,等. 风化壳型花岗岩潜山有效储层预测—以平湖斜坡宝云亭地区为例 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(2): 160-169. [LI Linzhi, GUO Gang, QI Peng, et al. Prediction of favorable reservoir in granite weathering-crust buried-hill type: A case study of the Baoyunting area on Pinghu slope[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(2): 160-169.]
- [4] 张宙,何新建,唐贤君,等. 东海盆地西湖凹陷构造圈闭特征及其油气藏类型 [J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(3): 27-35. [ZHANG Zhou, HE Xinjian, TANG Xianjun, et al. Structural trap characteristics and reservoir types in Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(3): 27-35.]
- [5] 张兰,何贤科,段冬平,等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖斜坡带平湖组煤系地层地震沉积学研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(4): 140-149. [ZHANG Lan, HE Xianke, DUAN Dongping, et al. Seismic sedimentological analysis of coal stratigraphy of Pinghu Formation in the Pinghu slope belt, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(4): 140-149.]
- [6] 陈建文,杨长清,张莉,等. 中国海域前新生代地层分布及其油气勘查方向 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(1): 1-25. [CHEN Jianwen, YANG Changqing, ZHANG Li, et al. Distribution of Pre-Cenozoic strata and petroleum prospecting directions in China Seas[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(1): 1-25.]
- [7] 万延周,陈春峰,周祥林,等. 东海盆地H地区花港组烃源岩特征 [J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(3): 33-40. [WAN Yanzhou, CHEN Chunfeng, ZHOU Xianglin, et al. Source rocks in Huagang Formation of H area East China Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(3): 33-40.]
- [8] 张兰,何贤科,段冬平,等. 西湖凹陷西地区古沟谷内隐蔽油气藏潜力 [J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(1): 41-50. [ZHANG Lan, HE Xianke, DUAN Dongping, et al. Potential of subtle hydrocarbon reservoirs in paleo-valleys in the Pingxi area of Xihu Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(1): 41-50.]
- [9] 张银国. 东海西湖凹陷花港组油气地质条件与油气分布规律 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(3): 223-226. [ZHANG Yinguo. Petroleum geology and hydrocarbon distribution pattern of Huagang Formation in the Xihu sag of the East China Sea[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(3): 223-226.]
- [10] 于兴河,李顺利,曹冰,等. 西湖凹陷渐新世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.]
- [11] 刘贤,葛家旺,赵晓明,等. 东海陆架盆地西湖凹陷渐新统花港组年代标尺及层序界面定量识别 [J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 990-1004. [LIU Xian, GE Jiawang, ZHAO Xiaoming, et al. Time scale and quantitative identification of sequence boundaries for the Oligocene Huagang Formation in the Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2022, 43(4): 990-1004.]
- [12] 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(4): 15-21. [Chen Linlin, Xie Yuefang. Discussion on depositional mode of Huagang Formation in Xihu depression, the East China Sea[J]. Offshore Oil, 1998(4): 15-21.]
- [13] 陈琳琳. 东海西湖凹陷苏堤区带花港组沉积相分析 [J]. 上海地质, 1998(1): 21-28. [CHEN Linlin. Sedimentary facies of Huagang Formation of Sudi Division in Xihu Trough, the East China Sea[J]. Shanghai Geology, 1998(1): 21-28.]
- [14] 陈琳琳. 西湖凹陷北部渐新统花港组湿地扇沉积学分析 [J]. 复杂油气藏, 2015, 8(4): 1-6. [CHEN Linlin. Sedimentary analysis of humid fan in Oligocene Huagang Formation of the northern Xihu Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2015, 8(4): 1-6.]
- [15] 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. [LI Shunli, XU Lei, YU Xinghe, et al. Marine transgressions and characteristics of tide-dominated sedimentary systems in the Oligocene, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2018, 20(6): 1023-1032.]
- [16] 何苗,秦兰芝,尹太举,等. 分支河流体系在东海西湖凹陷南部的运用及其对油气潜力的指示 [J]. 中国地质, 2021, 48(3): 820-831. [HE Miao, QIN Lanzhi, YIN Taiju, et al. The application of the distributive

- fluvial system in the South Xihu depression, East China Sea and its indication of oil and gas potential[J]. *Geology in China*, 2021, 48(3): 820-831.]
- [17] 何苗, 侯国伟, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷 H 构造群及周边花港组沉积环境及砂体刻画 [J]. *现代地质*, 2018, 32(1): 162-172. [HE Miao, HOU Guowei, QIN Lanzhi, et al. Sedimentary facies and sandbody depiction of the Huagang Formation of H structural group and its adjacent areas in Xihu Depression[J]. *Geoscience*, 2018, 32(1): 162-172.]
- [18] 蔡佳, 祁鹏, 宋双. 东海盆地西湖凹陷花港组下段沉积相分析 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2017, 37(2): 56-65. [CAI Jia, QI Peng, SONG Shuang. The geological structure and tectonic evolution of the East China Sea Shelf Basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017, 37(2): 56-65.]
- [19] 彭迎迎, 周倩羽. 西湖凹陷南部古近纪花港组沉积环境及聚煤规律研究 [J]. *煤炭技术*, 2022, 41(6): 67-70. [PENG Yingying, ZHOU Qianyu. Research on depositional environment and coal-accumulation of Paleogene Huagang Formation in Southern Xihu Depression[J]. *Coal Technology*, 2022, 41(6): 67-70.]
- [20] 万延周, 张年念. 东海盆地西湖凹陷花港组物源分析 [J]. *长江大学学报: 自然科学版*, 2016, 13(35): 24-27. [WAN Yanzhou, ZHANG Niannian. Analysis on provenance in Huagang Formation of Xihu Depression in the East China Sea Basin[J]. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*, 2016, 13(35): 24-27.]
- [21] 崔敏, 王鹏, 祁鹏. 西湖凹陷中北段花港期构造数值模拟及物源意义 [J]. *海洋地质前沿*, 2019, 35(8): 27-33. [CUI Min, WANG Peng, QI Peng. Numerical modeling of structures of Huagang Period in the middle-northern Xihu Sag and its implications for provenance[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2019, 35(8): 27-33.]
- [22] 何昕锴, 李晓龙, 赵洪, 等. 东海西湖凹陷碎屑岩物源聚类分析 [J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(6): 11-19. [HE Xinkai, LI Xiaolong, ZHAO Hong, et al. Clustering analysis of clastic rocks for provenance in Xihu Depression[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2020, 36(6): 11-19.]
- [23] 姜雪, 肖晓光, 王宇. 多手段厘定东海西湖凹陷花港组物源体系 [J]. *海洋地质前沿*, 2023, 39(6): 55-64. [JIANG Xue, XIAO Xiaoguang, WANG Yu. Multiple approach to the provenance system of Huagang Formation in Xihu Sag, East China Sea[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2023, 39(6): 55-64.]
- [24] 魏恒飞, 陈践发, 张铜磊, 等. 西湖凹陷花港组层序地层划分和聚煤特征 [J]. *煤炭学报*, 2012, 37(增刊 1): 149-156. [WEI Hengfei, CHEN Jianfa, ZHANG Tonglei, et al. Sequence stratigraphic division and concentrating coal characteristics of Huagang Formation in Xihu depression[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(S1): 149-156.]
- [25] 易琦, 邵龙义, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷平湖构造带花港组沉积环境与聚煤规律 [J]. *煤炭科学技术*, 2018, 46(2): 73-83. [YI Qi, SHAO Longyi, QIN Lanzhi, et al. Sedimentary environment and coal accumulation law of Huagang Formation in Pinghu Structural Zone of Xihu Depression[J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(2): 73-83.]
- [26] 朱筱敏, 潘荣, 赵东娜, 等. 湖盆浅水三角洲形成发育与实例分析 [J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(5): 7-14. [ZHU Xiaomin, PAN Rong, ZHAO Dongna, et al. Formation and development of shallow-water deltas in lacustrine basin and typical case analyses[J]. *Journal of China University of Petroleum(Natural Science Edition)*, 2013, 37(5): 7-14.]
- [27] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布 [J]. *地质学报*, 2008, 82(6): 813-825. [ZOU Caineng, ZHAO Wenzhi, ZHANG Xingyang, et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6): 813-825.]
- [28] 金振奎, 李燕, 高白水, 等. 现代缓坡三角洲沉积模式-以鄱阳湖赣江三角洲为例 [J]. *沉积学报*, 2014, 32(4): 710-723. [JIN Zhenkui, LI Yan, GAO Baishui, et al. Depositional model of modern gentle-slope delta: a case study from Ganjiang Delta in Poyang Lake[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(4): 710-723.]
- [29] Fisk H N, McFarlan E Jr, Kolb C R, et al. Sedimentary framework of the modern Mississippi delta[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24(2): 76-99.