

西湖凹陷平湖构造带花港组沉积环境与聚煤规律

易琦¹, 邵龙义¹, 秦兰芝², 沈文超¹, 周倩羽³, 鲁静¹, 张信¹, 刘金水²

(1. 中国矿业大学(北京)地球与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200030;

3. 河北工程大学资源学院, 河北邯郸 056038)

摘要:为了对西湖凹陷勘探区优选、煤系烃源岩生烃潜力进行评价,就西湖凹陷花港组的岩相古地理和煤层富集的控制因素进行研究,根据钻井的岩石学、地球化学、古生物特征及地球物理测井特征进行了分析,利用岩性等值线图恢复了花港组的岩相古地理图,总结了平湖构造带的沉积特征与煤层发育规律。研究表明:在西湖凹陷古近系花港组识别出 9 种岩相类型,主要发育三角洲沉积体系,物源区位于该凹陷区西部的海礁隆起和西南部的渔山隆起,且花港组下段古地理单元包括上三角洲平原和下三角洲平原,上段古地理单元包括上三角洲平原、下三角洲平原和三角洲前缘,整个花港组以下三角洲平原占优势。在花港组沉积期发生持续的湖侵现象,聚煤作用主要发生于下三角洲平原分流间湾,且下段聚煤作用强于上段。

关键词:西湖凹陷;平湖构造带;花港组;沉积环境;聚煤特征

中图分类号:P544.4; P618.11

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)02-0073-11

Sedimentary environment and coal accumulation law of Huagang Formation in Pinghu Structural Zone of Xihu Depression

YI Qi¹, SHAO Longyi¹, QIN Lanzhi², SHEN Wenchao¹, ZHOU Qianyu³, LU Jing¹, ZHANG Xin¹, LIU Jinshui²

(1. School of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 10083, China;

2. Shanghai Branch, China National Offshore Oil Co., Ltd., Shanghai 200030, China;

3. School of Resources, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: In order to optimize the exploration zone of Xihu depression and an evaluation conducted on the hydrocarbon generating potential of the coal measure source rock, a study was conducted on the control factors of the lithofacies palaeogeography and seam enriched in the Huagang Formation of Xihu depression. According to the petrology, geochemistry, paleontology features and geophysical logging of the borehole drilling, an analysis was conducted. A lithofacies contour map was applied to recover the lithofacies paleogeographic map and to summarize the sedimentary features of Pinghu tectonic zone and the seam development law. The study results showed that the Huagang Formation of the Paleogene in Xihu depression recognized 9 lithology types, the delta sedimentary system was mainly developed and material resources area was located in the sea reef uplift at the west of the study area and the Yushan uplift at the southwest of the study area. The paleogeographic unit at the low section of Huagang Formation would include upper delta plain and the low delta plain. The upper paleogeographic unit would include the upper delta plain, low delta plain and the delta leading edge. The whole Huagang Formation was superiority with the low delta plain. During the sedimentary period, a lake transgression phenomenon was sustainably occurred in Huagang Formation. The coal accumulation function was mainly occurred in a between distributary bay of the delta plain and the low section coal accumulation function would be better than the upper section.

Key words: Xihu Depression; Pinghu Structural Zone; Huagang Formation; sedimentary environment; coal accumulation features

收稿日期:2017-10-11;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.02.009

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05027-001-002)

作者简介:易琦(1992—),男,云南曲靖人,硕士研究生。通信作者:邵龙义,教授,博士生导师,Email:ShaoL@cumt.edu.cn

引用格式: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.

0 引言

西湖凹陷是东海陆架盆地勘探潜力最大的凹陷之一,整体上是东断西超的断陷盆地,自1974年以来陆续发现了多个油气田和含油气构造,具有巨大的油气勘探潜力。前人研究结果显示,西湖凹陷烃源岩发育的主要层位为平湖组,而上部花港组次之^[1-2]。前人对西湖凹陷烃源岩评价指出,西湖凹陷花港组煤系地层具有一定的生烃能力,为较差—中等烃源岩,但由于其砂体孔隙性好,具有较高的渗透性,因而成为较好的储层^[3]。

平湖构造带是西湖凹陷发现并投入开发的第一个含油气构造带^[4],是西湖凹陷主要的含油气构造带之一,但该构造带钻井仍然较少,且分布不均匀,从而导致对该构造带含煤建造的沉积类型认识存在分歧,孙思敏等^[5-6]认为平湖构造带主要发育曲流河与辫状河两种沉积相,张建培等^[7]认为西湖凹陷花港组主要有陆相湖泊、河流和湖泊三角洲沉积体系组成,而张绍亮等^[8]认为花港组下段为河流—冲积扇沉积相组合。此外,西湖凹陷煤层具有多相带,多煤层中心展布的格局,受到诸多因素的控制^[9]。近年来,随着对构造带勘探的深入,揭露了层数较多的薄煤层、厚煤层,这些煤层代表的沉积环境与生烃潜力有着密切关系,因此,有必要对该凹陷沉积环境及聚煤特征进行深入研究。

笔者结合对钻井岩心的描述及地球物理测井资料的解释,识别了花港组的主要岩相类型及沉积体系;利用地震勘探资料对西湖凹陷的盆地构造及沉积物充填特征进行了研究,利用单因素等值线等方法对平湖构造带进行单井沉积相划分及沉积相空间展布特征对比研究,恢复花港组沉积期的古地理,利用测井资料及岩心资料确定了煤层厚度及层数,从而对平湖构造带花港组煤层的发育特征、分布规律进行研究,对以后的勘探区优选、煤系烃源岩生烃潜力评价有着十分重要的意义。

1 区域地质概况

东海陆架盆地位于欧亚板块东南边缘与太平洋板块之间,是环太平洋构造带的一部分^[10]。西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷带,面积约46 000 km²,新生界最大厚度可达15 000 m,西邻渔山隆起与海礁隆起,东与钓鱼岛隆褶带毗邻(图1)。西湖凹陷从西往东可分为西部斜坡带、西次凹、中央反

构造带、东次凹和东部断阶带5个次级单元带。

西部斜坡带位于西湖凹陷西部,整体呈NNE向展布,根据断裂特征及构造组合样式,自北往南依次划分为杭州构造带、平湖构造带和天台构造带,平湖构造带由平北、平中和平南3个区带组成。该区新生代地层自下而上分别为始新统瓯江组和平湖组;渐新统花港组;中新统龙井组、玉泉组和柳浪组;上新统三潭组及第四系东海群^[11],其中平湖组和花港组为主要的含煤层段。



图1 平湖构造带位置及构造分带示意^[12]

Fig.1 Location and tectonic units division of Pinghu Structural Zone^[12]

所研究的层段花港组厚度为600~800 m,花港组与下伏地层平湖组和上覆地层龙井组呈区域不整合接触。花港组依据岩性组合可划分为下段和上段,下段以中砂岩和粗砂岩为主,含薄煤层和粉砂岩,下部以中砂岩为主,上部主要为细砂岩和泥岩;上段主要以粉砂岩和泥岩为主,下部以细砂岩为主,上部主要为泥岩和粉砂岩的互层(图2)。

2 花港组沉积环境与沉积相

2.1 岩相与沉积环境

依据钻井及录井资料分析,平湖构造带花港组主要有泥岩、粉砂岩、砂岩和煤4种岩石类型,发育水平层理、平行层理、交错层理、水流波痕、冲刷—充填构造、包卷层理和透镜状层理等11种沉积构造,具有生物扰动构造、生物潜穴、植物茎叶化石等古生物特征,依据岩性、沉积构造及古生物特征,在花港组识别出9种岩相类型(表1)。

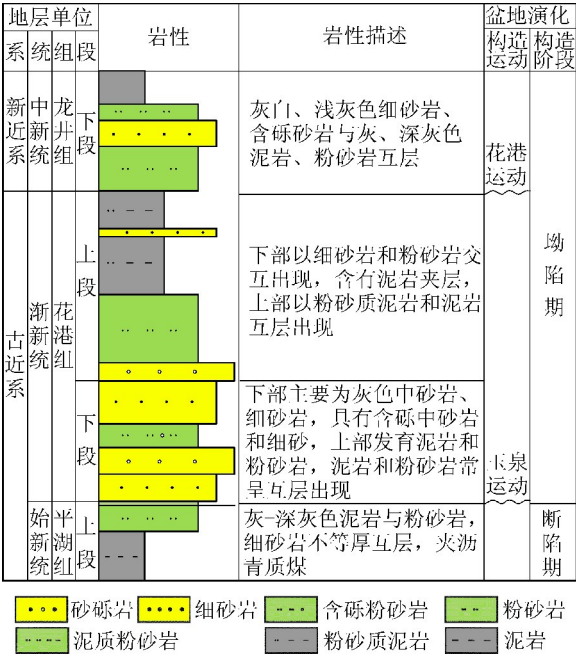


Fig.2 Comprehensive columnar section stratigraphy of Huangang Formation in Pinghu Structural Zone

表 1 平湖构造带花港组主要岩相类型及特征

Table 1 Lithofacies types and characteristics of Huangang Formation in Pinghu Structural Zone

岩石类型	岩相	沉积构造	岩性描述	环境解释
砂岩	含泥砾中砂岩	平行层理, 楔状交错层理	灰白色, 灰黄色, 砂岩磨圆中等, 分选较好, 含有泥砾, 多呈紫红色, 具叠瓦状定向排列	分流河道
	含砾中砂岩	大型板状交错层理, 平行层理	灰白色, 灰绿色, 厚层状, 磨圆较好, 分选中等, 底部偶见植物茎化石,	分流河道
	交错层理细砂岩	槽状、楔状交错层理	灰白色、灰黄色, 薄-厚层状, 常与平行层理共生	决口扇、边滩、天然堤
	波痕状层理细砂岩	水流波痕状层理	灰白色, 砂质较纯, 磨圆、分选较好, 偶见火焰状构造	河口坝, 天然堤
粉砂岩	缓波状粉砂岩	水流波痕	灰白色、灰绿色, 薄-中厚层, 发育生物潜穴	泛滥平原、分流间湾
	泥质粉砂岩	槽状交错层理、包卷层理、冲刷-充填构造	多为灰绿色、灰黄色, 泥岩和粉砂岩常呈互层出现, 受生物扰动强烈	远砂坝
泥岩质	粉砂质泥岩	水平层理、浪成波痕	灰黑色、紫红色薄层泥岩, 生物扰动构造发育	分流间湾
	水平层理泥岩	水平层理	灰黑色、灰绿色泥岩, 含有暗色有机质, 生物潜穴发育	泛滥盆地, 前三角洲
煤	煤岩	—	层数少而薄, 多为亮煤, 可见植物碎片, 可见黄铁矿	分流间湾

3) 泥质岩: 泥质岩以灰黑色、灰绿色紫红色泥岩为主, 主要分布在花港组上段, 粉砂质泥岩具有水平层理、浪成波纹层理, 同时具有生物扰动构造, 主要形成在下三角洲平原分流间湾; 发育水平层理的灰黑色、灰绿色泥岩形成于泛滥平原和前三角洲微相。

煤: 本区煤层厚度薄, 但是层数较多, 宏观煤岩

1) 砂岩: 平湖构造带花港组砂岩以灰白色、灰色和灰黄色为主, 细-中粒, 分选性较好, 磨圆多为次棱角状, 发育有波痕、交错层理、平行层理等沉积构造, 具有板状交错层理、平行交错层理以及楔状交错层理的砂岩常形成于三角洲平原分流河道, 同时, 砂岩中具有定向性排列的紫红色泥砾和扁平状定向排列的砾石, 代表着河道底部冲刷面; 在具波痕层理的砂岩出现在上三角洲平原堤岸、边滩及河口坝微相中(图 3)。

2) 粉砂岩: 粉砂岩主要发育在花港组上段, 下段沉积末期也发育有粉砂岩, 多呈灰绿色、灰黄色, 具有小型槽状交错层理、包卷层理等构造; 具有缓波状的水流波痕层理形成在分流间湾、堤岸等微相, 在泛滥盆地、决口扇、下三角洲平原分流间湾环境中形成的泥质粉砂岩通常出现小型槽状交错层理; 分流间湾形成的泥质粉砂岩通常还具有生物扰动构造、生物潜穴和泄水构造等, 代表着低能环境。

类型以亮煤为主, 暗煤含量较低, 少见镜煤及丝炭组分, 多呈块状或发育线理, 可见植物茎叶化石和黄铁矿, 代表了还原性的沉积环境; 煤层主要形成于下三角洲平原分流间湾。

图 3 中①~⑨各组岩相特征分述如下: ①为砂岩中具有定向性排列的泥砾, 可指示水流方向, 形成于下三角洲平原分流河道底部(井号: N-1D, 井深:

井深:3 542.62 m);②为具爬升波纹层理的砂岩,形成于上三角洲平原天然堤沉积(井号:N-1D,井深:3 442.78 m);③为生物潜穴、变形及泄水沟造,形成于泛滥盆地沉积(井号:P-1,井深:2 715 m);④为小型交错层理,远砂坝沉积(井号:P-1,井深:2 814.11 m);⑤为缓波状层理及波状交错层理砂岩,远砂坝沉积(井号:P-2,井深:2 825.95 m);⑥为下部为斜层理,顶部有冲刷面及扁平泥砾,受分流河道影响的泛滥盆地沉积(井号:P-1,井深:2 715.19 m);⑦为远端坝砂岩中的浪成沙纹交错层理(井号:P-2,井深:2 843.73 m);⑧为河道砂质沉积物中平行的炭质纹带(井号:P-4,井深:2 306.62 m);⑨为下三角洲平原分流河道中的平行层理(井号:P-6,井深:2 631.5 m)。

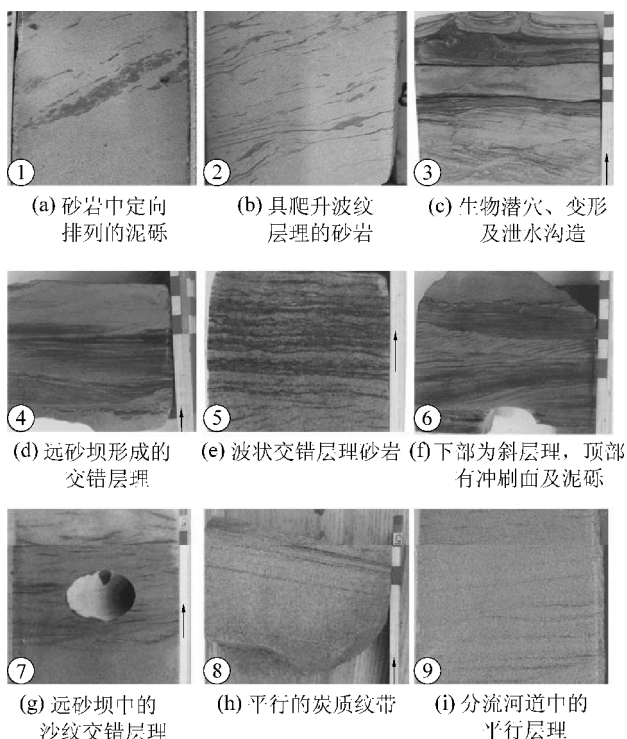


图3 西湖凹陷平湖构造带花港组岩相特征

Fig.3 Lithofacies of Huagang Formation in Pinghu

Structural Zone of Xihu Depression

2.2 沉积相特征

由前面分析可知,在平湖构造带花港组发育4种岩石类型、9种岩相类型,主要发育三角洲沉积体系。三角洲沉积在单井中常呈不完整序列出现,上三角洲平原、下三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲交互叠加出现。前三角洲位于下三角洲前缘外侧,以泥质沉积为主,夹有薄层的粉砂-细砂岩,以水平

层理和小型波状交错层理为主,可见生物潜穴和生物扰动构造,与叠加的三角洲前缘构成向上变粗的序列。

在岩心上,三角洲前缘表现为局部发育,其微相包括河口坝和远砂坝沉积(图3);河口坝以互层的细砂岩、粉砂岩为主,发育有槽状交错层理、楔状交错层理、平行层理和同生变形层理等;远砂坝岩性较细,砂体厚度薄,其显著特征是粉砂岩、细砂岩和泥岩互层出现,发育有砂纹层理和流水波痕层理,在测井曲线上多表现为漏斗形。

下三角洲平原是水陆过渡区域,为最低湖平面和最高湖平面的沉积范围,下三角洲平原可分为水下分流河道和分流间湾;水下分流河道岩性以细砂岩为主,发育有平行层理和交错层理,砂体规模较上三角洲平原分流河道小;分流间湾以泥质岩、粉砂质泥岩为主,具有波状层理和水平层理,研究区煤层主要形成在分流间湾;在下三角洲平原中,中厚层的砂岩和泥岩在垂向上叠加出现,据此可与上三角洲平原区分。

上三角洲平原是河流分叉到最高湖平面的沉积范围,沉积亚相包括分流河道、天然堤、决口扇、岸后沼泽等沉积作用。其中,分流河道岩性为中砂岩,发育大型的平行层理、板状交错层理和楔状交错层理,底部以显著的泥砾和砾石为标志,测井曲线中河道通常表现为箱形;在分流河道岸后还发育堤岸和决口扇沉积,以细砂岩为主,具有波纹层理和交错层理;在分流河道间还发育泛滥盆地微相;上三角洲平原中测井曲线呈箱形和钟形特征。

2.3 垂向沉积特征

通过钻井分析可知,花港组下段主要为三角洲平原亚相,而花港组上段则发育下三角洲平原亚相,在上段沉积末期,局部地区发育有三角洲前缘沉积。

西湖凹陷花港组下段发育三角洲平原沉积,由单层厚度大的砂岩相互叠置出现,在砂岩底部通常出现含泥砾或砾石的砂岩,分流河道间湾沉积物厚度小,主要是河道迁移引起。花港组上段主要是下三角洲平原和三角洲前缘沉积,花港组末期发生大规模持续湖侵现象,在此过程中,逐渐发育三角洲前缘沉积(图4)。

3 岩相古地理及聚煤模式

3.1 盆地构造活动及充填特征

沉积体系类型主要受盆地构造背景、古气候等

因素所控制,但物源对盆地内沉积体系的类型及其发育规模有重要的决定作用^[13]。同西湖凹陷构造演化相似,平湖构造带新生代演化特征也经历了断陷、坳陷和整体沉降 3 个阶段,其中,T30 界面作为

断陷期和坳陷期之间最大的转换界面,上超下削现象普遍,玉泉运动(T30 界面)结束后,界面上下的断层发育差别大,界面下部的断层对沉积作用控制已不大^[14-16]。

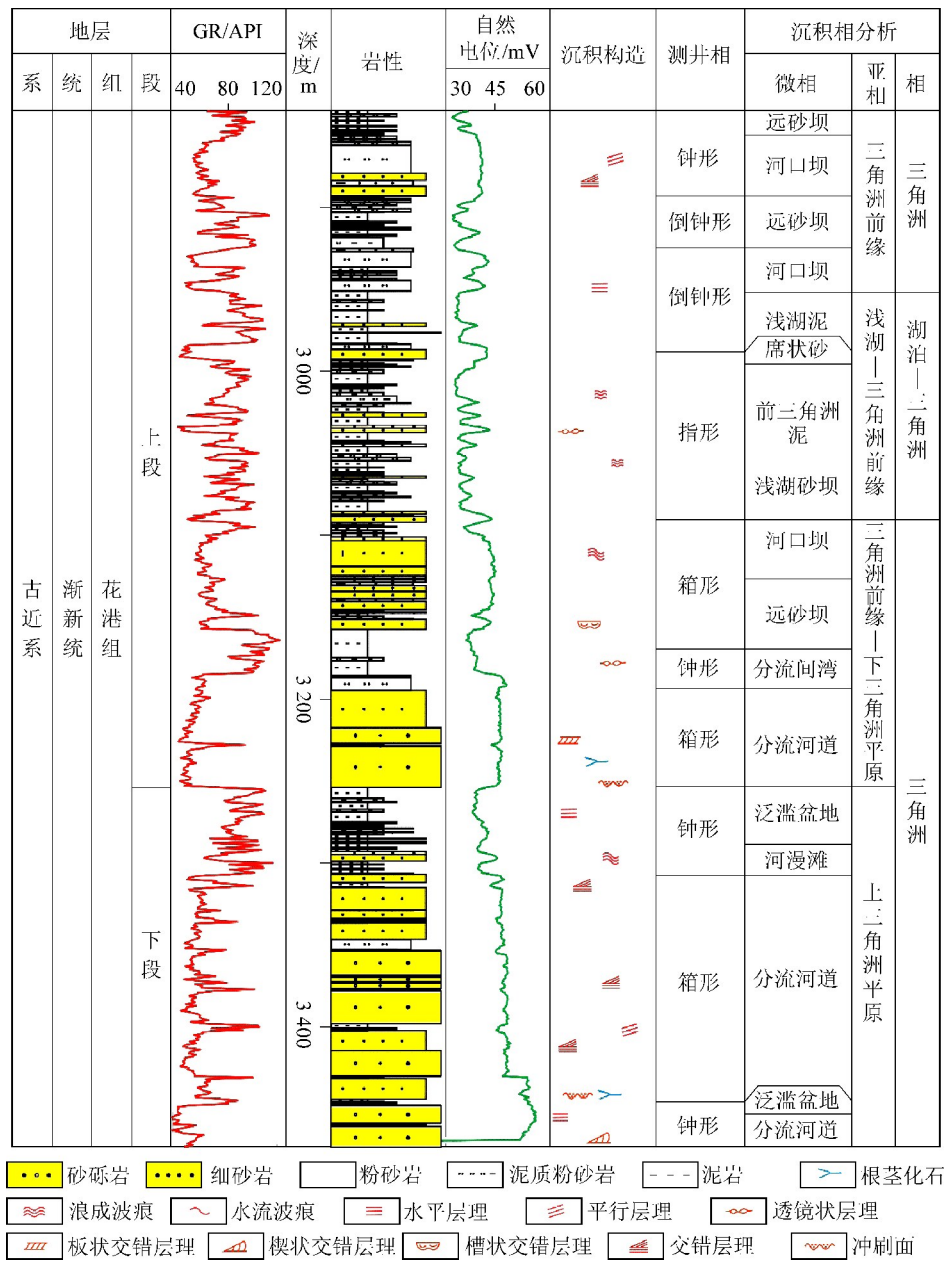


图 4 平湖构造带花港组沉积相柱状

Fig.4 Columnar sections of sedimentary facies of Huagang Formation in Pinghu Structural Zone

花港组为断陷期向坳陷期转变后的早期沉积,断层不发育,整个凹陷呈锅底式铺平的沉积特点,地层在地震剖面上表现为自凹陷中心向东西两侧逐渐减薄,表现为“坳陷型”结构特征;平湖构造带位于凹陷西部边缘斜坡带,受构造活动影响,构造带内主要水系近东西向,由于构造带处于坳陷早期,湖盆范

围不断扩大,自下而上为一套水进沉积,地震上具有上超现象,水体总体较浅,区域上以基准面上升沉积为主。

3.2 岩相古地理

对研究区内每个钻孔揭示地层按照组段进行地层厚度、砂岩(砾岩+砂岩)厚度、泥岩(泥岩+粉砂

岩)厚度、砂泥比值和煤层厚度等参数的统计,对花港组下段和上段的地层厚度等值线图、砂岩厚度等值线、泥岩厚度等值线图以及砂泥比等值线图和煤层等值线图进行了分析;其中,地层厚度等值线图可以反映沉积期内的沉积中心、隆起和凹陷以及盆地轮廓,泥岩厚度等值线结合沉积相、古生物等确定了古地理单元边界,砂岩厚度等值线图反映了三角洲河道砂体的分布特征,泥岩厚度图反映了分流间湾的分布特征,最后以砂泥比等值线为基础,参考砂岩和泥岩厚度等值线图,综合分析绘制出沉积期的古地理图^[16]。

花港组下段地层总厚度较薄(表 2),平均厚度为 173.3 m,地层厚度图显示了地层厚度沿斜坡带呈带状分布,厚度向盆地中心逐渐增厚,在平北区东部、平中区东南部地区,地层厚度最厚分别为 260、360 m,显示了主要的沉积中心。砂岩平均厚度为 143.6 m,总体厚度较大,沿构造带方向变化较大,在平北区北部和南部、平中区南部和平南区南部出现了高值区,其值高于 277 m,与地层厚度沉积中心基本一致,泥岩厚度在 62~415 m,变化范围较大,主要受三角洲平原分流河道的影响。

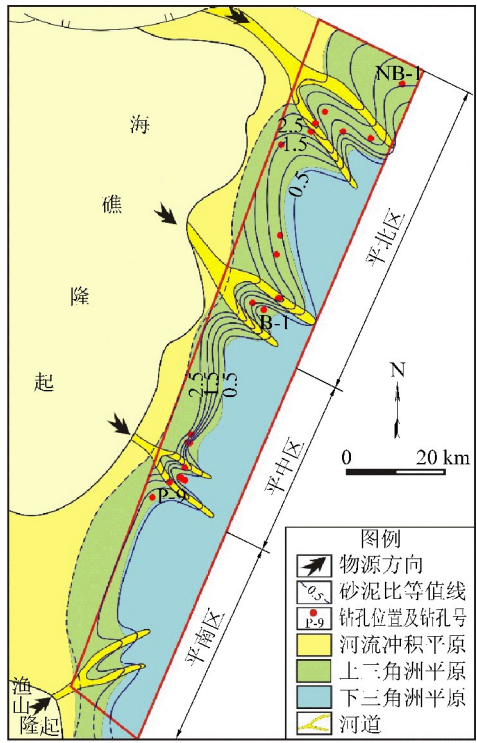
表 2 平湖构造带花港组单因素数据统计结果
Table 2 Statistical results of single factor of Huagang Formation in Pinghu Structural Zone

组段	地层厚度/m	砂岩厚度/m	泥岩厚度/m	砂泥比	煤层厚度/m
花港组	272.0~557.0	33.0~212.1	172.4~421.0	0.1~1.2	0~4.5
上段	379.5	118.2	260.6	0.5	0.7
花港组	172.2~443.2	20.0~277.0	62.0~415.0	0.05~3.20	0~6.9
下段	173.3	143.6	143.7	1.30	1.2

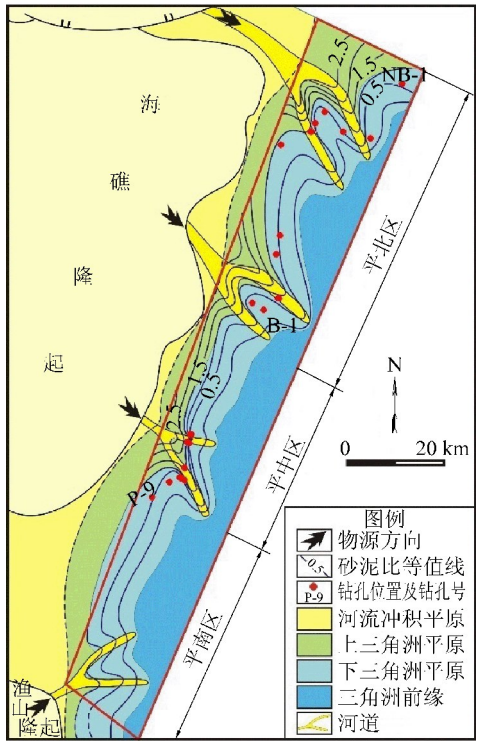
注:数据表示最小值~最大值/平均值,表中统计数据来源于 33 口钻井

根据以上分析,绘制出平湖构造带花港组上下段的古地理图(图 5)。从图 5a 可以看出,沉积期的古地理单元主要有下三角洲平原、上三角洲平原等,其砂泥比分别大于 1 和小于 1。花港组下段沉积物主要来源于平湖构造带西部的海礁隆起,平南区的沉积物也有部分来自于西南侧的渔山隆起;在平湖构造带西部存在河流冲击平原,砂泥比大于 1 的地区为上三角洲平原,沉积走向与构造带走向基本一致,主要分布在平湖构造带西部靠物源一侧;砂泥比小于 1 的地区为下三角洲平原,主要分布在平湖构造带的东部,三角洲朵体分布在砂泥比较高的地区,集中在平北区

NB-1 井、平中区 B-1 井、平南区 P-9 井附近。



(a) 花港组下段



(b) 花港组上段

图 5 平湖构造带花港组砂泥比等值线及岩相古地理
Fig.5 Isopach of sandstone/mudstone ratio and lithofacies Paleogeography in Huagang Formation of Pinghu Structural Zone

利用同样的方法分析花港组上段单因素等值线特征,花港组上段总体较厚,最厚可达 557 m,平均厚度为 379.5 m,自西部边缘向东部斜坡逐渐变厚,该时期沉积中心与下段沉积中心基本一致,砂岩厚度为 33~212.1 m,厚度变化较大,在平中区 P-9 井附近砂岩范围为 50~200 m,泥岩普遍较高,为 172.4~421.0 m,平均厚度 260.6 m,沉积中心与地层沉积中心基本一致。

花港组上段沉积期内,沉积期的古地理单元主要为下三角洲平原和三角洲前缘,局部发育上三角洲平原(图 5b)。砂泥比大于 1 的地区为上三角洲平原,主要分布在平北区、平中区西部边缘一带,砂岩含量也较高,分布范围比较小。砂泥比介于 0.1~1.0 的地区为下三角平原,沿着 NB-1 至 B-1 至 P-9 井呈带状分布,砂泥比小于 0.1 的地区发育三角洲前缘沉积,分布在构造带的西部地区,为当时湖水较深的地区。同上段一样,物源主要来自西部的海礁隆起,平南区的物源来自西南方向的渔山隆起,在花港组沉积期内向着湖岸线发生了湖侵现象,沉积相带向西发生了迁移,从而发育下三角洲平原和三角洲前缘。

3.3 测井确定煤层厚度

利用测井资料识别煤层并确定煤层厚度在煤田勘探领域具有十分重要的意义^[17-19]。但由于海域区深部受无机化学元素、放射性元素和海水导电性的影响^[20],且煤层发育受诸多因素的控制而呈多相带展布的格局,钻井揭示的煤层多为薄煤层,使用单一的测井解释方法很难正确区分煤层空间分布及厚度,目前,对于海域区煤层识别较为有效的方法主要有逻辑判别法、聚类分析法、蜘蛛网图法和人工神经网络法^[20-21],笔者以测井相蜘蛛网图法和逻辑判别法为例介绍研究区煤层识别及厚度的确定方法。

测井相蜘蛛网图法是将测井反映的某一岩层的物性,形象地展示在一个蜘蛛网图上。其做法如下:首先选取测井曲线响应显著的多个岩性段,将每一类型的测井曲线值取平均值,并注意将测井值较小、相差不大的给予适当加权,以此提高识别精度和敏感度,然后将不同类型的侧井值表示在蜘蛛网图上,这样就建立了不同岩层的测井相标准蜘蛛网图。本次研究选取中孔隙度(CNCF)、井径(DT)、自然伽马(GR)、微侧向电阻率(RMLL)、密度(ZDEN)、自然电位(SP)共 7 类测井,分别建立了标准煤层、泥

岩、砂岩段的测井相蜘蛛网图(图 6),利用取心段煤层对应的测井相蜘蛛网图进行检验,蜘蛛网图形状基本一致。选取区内 P-11 钻井的不同岩层进行蜘蛛网图分析,对照已建立的标准,当异常层的测井相蜘蛛网图与标准煤层测井蜘蛛网图相似时,则可以较为准确地识别煤层。

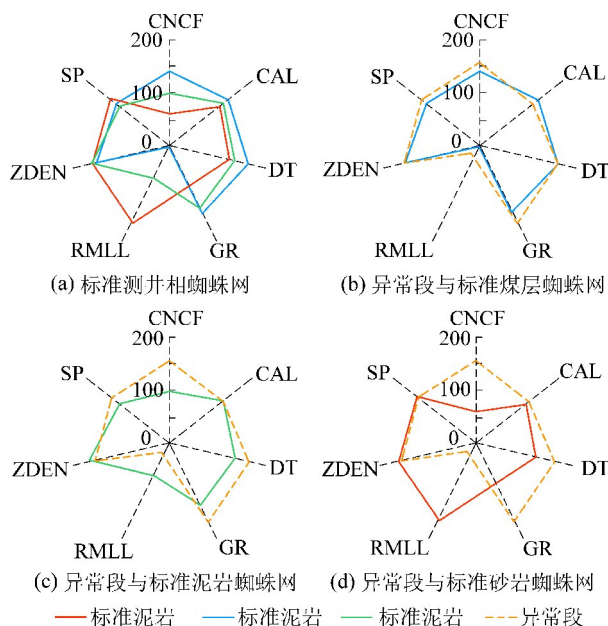


图 6 标准蜘蛛网图判别测井异常的岩性(P-11 井)

Fig.6 Distinguishing logging abnormality lithology by standardized electrofacies cobweb(Borehole P-11)

逻辑判别法是在分析总结取心段测井曲线响应的规律,根据测井响应规律来推断未取芯段煤层发育情况。需要注意的是取芯段和未取芯段在煤的灰分、水分及沉积环境等方面相差不大的条件下采用才具有普遍性和代表性^[20]。研究区 P-11 井取心段煤层测井曲线具有“三高两低”(即高中子孔隙度、高井径、高声波时差、和低侧向电阻率、低岩性密度测井)的规律,据此分析其他井段的测井曲线特征,从而对煤层进行识别(图 7)。

研究区煤层厚度普遍小于 2 m,煤层顶、底板多为砂岩,其物性差异较大,因此,其煤层的测井响应较显著,但与顶、底板界面不明显,有时具渐变过渡特征;研究区测井间距为 0.1 m,理论上测井分辨率为 0.2 m,但实际工作中分辨率大于 0.2 m,因此,当煤层厚度小于 0.2 m 时,测井反映的煤层厚度可能包含了部分顶底板岩性,因此,常规测井方法解释煤层厚度常比实际厚度要大;因此,笔者选取了 2 条对煤层响应显著的两条曲线(声波时差和岩性密度测

井)作为确定煤厚的依据。统计了研究区 33 口钻井的煤层厚度,研究煤层实际测量厚度与声波时差、岩性密度测井截取值的关系发现,在取声波时差和

岩性密度的平均值为 $82.4\text{ }\mu\text{m/s}$ 和 2.5 g/cm^3 时,煤层厚度识别的误差值较小,因此,可以据此作为确定煤层厚度的截取值。

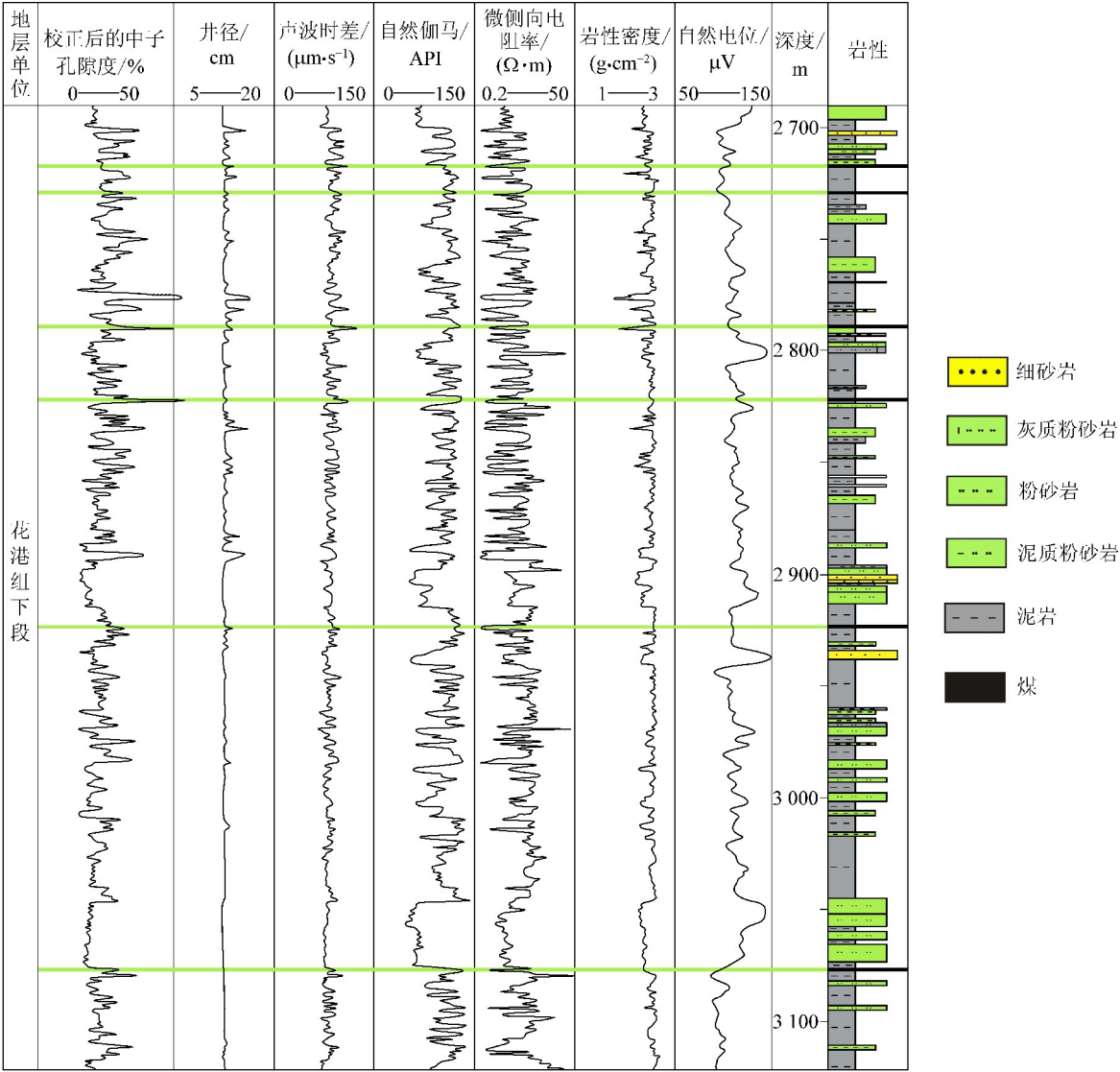


图 7 P-11 井逻辑判别法识别煤层
Fig.7 Identified coal beds by logic discriminate method in Borehole P-11

3.4 聚煤特征

煤层发育受很多地质条件控制,其中最重要的是基底沉降和沉积环境^[16,22]。基底沉降包括构造活动的强度和频率,沉积环境包括沉积期的古地理条件、古地貌、古植物、古气候、泥炭沼泽类型及其水体深度以及地球化学物理条件等。

平湖构造带花港组下段煤层厚度在 0~6.2 m,平均厚度为 1.2 m。花港组下段主要发育三角洲平原沉积体系,结合单井成煤环境分析以及煤层厚度

等值线图,花港组下段煤层主要发育在下三角洲平原地区,随着古地理单元从上三角洲平原向下三角洲平原过渡,煤层厚度逐渐增大,表明该时期煤层主要形成于下三角洲平原。

此外,受三角洲平原分流河道的影响,聚煤场所主要在三角洲平原分流间湾,煤层较薄而且连续性差;花港组下段聚煤中心主要分布在平北区和平中区南部(图 8a)。花港组上段煤层厚度在 0~4.7 m,平均厚度为 0.7 m,煤层厚度自西向东逐渐增厚,在下三角洲平原和三角洲前缘发育区,水体较浅,聚煤

作用广泛发生,在下三角洲分流间湾微相中聚煤作用最为强烈,聚煤中心基本与其上段一致,成煤作用

场所的范围有所扩大,在三角洲前缘煤层发育也较好(图 8b)。

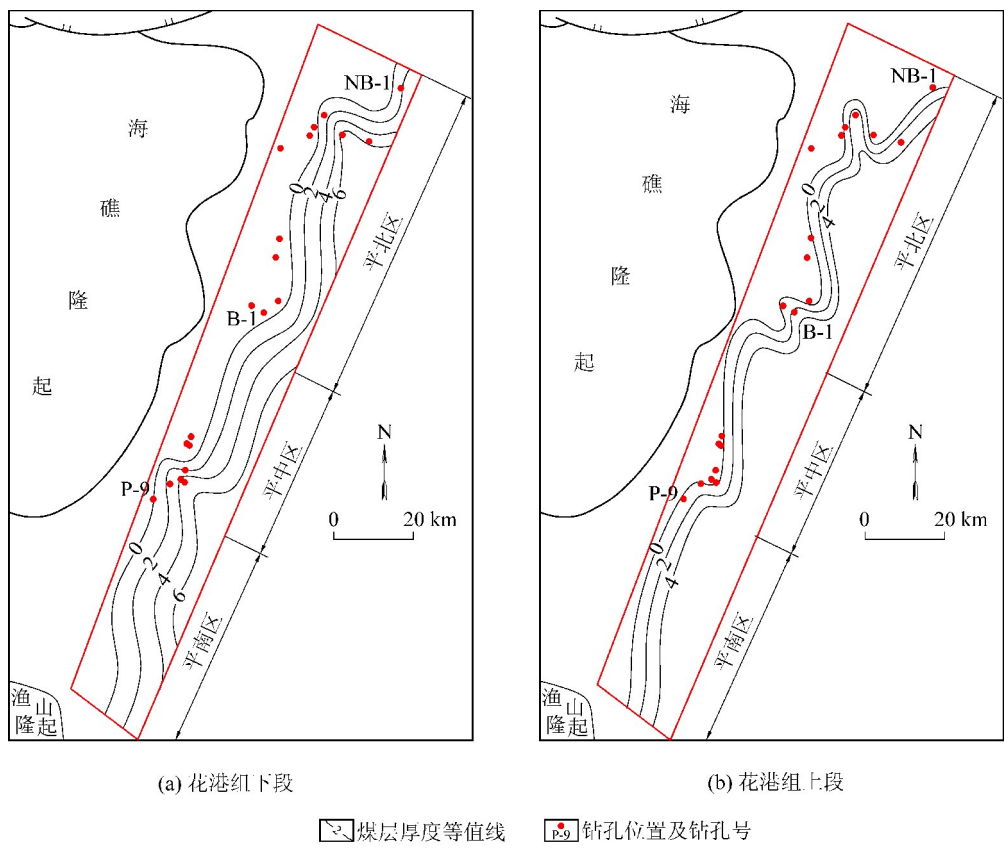


图 8 平湖构造带花港组煤厚等值线

Fig.8 Contours of coal thickness in Huagang Formation of Pinghu Structural Zone

渐新统花港组时期,西湖凹陷拉张裂隙趋于停止,发育了一套坳陷型湖盆沉积^[15,23-24],基底处于坳陷早期阶段,在此基础上形成了煤层;钻井揭示的资料显示,花港组主要由丰富的桫粉属-栎粉属-杉粉属-桉木粉属组合和桉木粉属组合,其他门类化石少见,为较湿润的亚热带气候的淡水沉积环境^[7,25-26],有利于植物的生长;因此,控制花港组煤层厚度的主控因素为古地理。

花港组沉积环境以三角洲平原为主,在上三角洲平原沉积地区,可容空间产生速率小于沉积速度,可容空间很快被填满,没有形成适合煤层发育的沼泽环境,因此,聚煤作用相对较弱;东部下三角洲平原地区水体变深,可容空间增大,间湾沼泽发育,有利于煤层的形成,聚煤作用强度较强^[27]。

4 结 论

1)本次研究区识别出砂岩、粉砂岩、泥岩和煤等 4 种种岩石类型,综合岩石颜色、结构、构造以及生物化石,在研究区识别出含泥砾中砂岩、含砾中砂岩、交错层理细砂岩、波痕状层理细砂岩、缓波状粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、水平层理泥岩和煤岩 9 种岩相类型。

2)研究区花港组划分出三角洲沉积体系,花港组下段主要发育三角洲平原,在平湖构造带东部发育上三角洲平原,向西过渡为下三角洲平原,在平北区东部、平中区东南部地区;花港组上段发育上三角洲平原、下三角洲平原和三角洲前缘沉积,沉积中心基本与下段一致。

花港组物源位于构造带西部的海礁隆起,平南区物源主要来自于渔山隆起;花港组沉积期发生持续湖侵现象。

3)花港组沉积期内,主要成煤环境是下三角洲平原分流间湾,受分流河道影响较大,导致煤层横向和纵向连续性差,花港组下段聚煤作用强于上段。

参考文献(References):

- [1] 谢康珍,朱炎铭,司庆红,等.西湖凹陷新生代煤系烃源岩生烃动力学研究[J].煤炭科学技术,2015,43(3):125-129.
XIE Kangzhen,ZHU Yanming,SI Qinghong,*et al.*Study on kinetics of hydrocarbon generation from Cenozoic coal measures of Xihu Depression[J].Coal Science and Technology,2015,43(3):125-129.
- [2] 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.
ZHOU Qianyu,SHEN Wenchao,ZHANG Xin,*et al.*The coal-accumulating environments characteristics and coal-forming pattern of Pinghu Formation(Paleogene) in Xihu Depression[J].Journal of Hebei University of Engineering:Natural Science Edition,2016,33(1):105-107.
- [3] 梁连喜,蒲庆南.东海西湖凹陷地质结构与局部构造特征[J].海洋石油,1997,17(3):1-6.
LIANG Lianxi,PU Qingnan.Geological structure and local tectonic features of Xihu Depression in East China Sea[J].Offshore Oil,1997,17(3):1-6.
- [4] 顾惠荣,叶加仁,郝 芳.东海西湖凹陷平湖构造带油气分布规律[J].石油与天然气地质,2005,26(1):104-108.
GU Huirong,YE Jiaren,HAO Fang.Distribution pattern of oil and gas in Pinghu Structural Zone of Xihu Depression,East China Sea[J].Oil & Gas Geology,2005,26(1):104-108.
- [5] 孙思敏,彭仕宓.东海西湖凹陷平湖油气田花港组沉积相及沉积演化[C]//第九届全国古地理学及沉积学学术会议论文集.北京:中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会,2006:63-67.
- [6] 孙思敏,彭仕宓.东海西湖凹陷平湖油气田花港组高分辨率层序地层特征[J].石油天然气学报:江汉石油学院学报,2006,28(4):184-187,448-449.
SUN Simin,PENG Shimi.The characteristics by high resolution sequence stratigraphy of Pinghu Oilfield in Xihu Sag,the East China[J].Journal of Oil and Gas Technology:J JPI,2006,28(4):184-187,448-449.
- [7] 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.
ZHANG Jianpei,XU Fa,ZHONG Tao,*et al.*Sequence stratigraphic models and sedimentary evolution of Pinghu and Huagang Formations in the Xihu Depression[J].Marine Geology and Quaternary Geology,2012,32(1):35-41.
- [8] 张绍亮,秦兰芝,余逸凡,等.西湖凹陷渐新统花港组下段沉积相特征及模式[J].石油地质与工程,2014,28(2):5-8,145.
ZHANG Shaoliang,QIN Lanzhi,YU Yifan,*et al.*The characteristics and patterns of sedimentary facies of the lower member of Huagang Formation[J].Petroleum Geology and Engineering,2014,28(2):5-8,145.
- [9] 王 飞,秦 勇,赵志刚,等.东海陆架盆地聚煤模式研究[J].煤炭科学技术,2013,41(4):96-99.
WANG Fei,QIN Yong,ZHAO Zhigang,*et al.*Study on coal-accumulation model of East Sea Shelf Basin[J].Coal Science and Technology,2013,41(4):96-99.
- [10] 何将启.东海西湖凹陷构造-热历史分析[D].上海:同济大学,2004:32-34.
- [11] 胡望水,蔡 峰,胡 芳,等.东海西湖凹陷平湖斜坡带裂陷期变换构造特征及其演化规律[J].石油天然气学报:江汉石油学院学报,2010,32(3):7-12.
HU Wangshui,CAI Feng,HU Fang,*et al.*Characteristics of transformation structure and evolution law of rift period in Pinghu Slope Zone of Xihu Depression,East China Sea[J].Journal of Oil and Gas Technology:J JPI,2010,32(3):7-12.
- [12] 胡 芬,叶加仁,刘俊海.东海西湖凹陷平湖构造带油气运聚特征[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(1):95-102.
HU Fen,YE Jiaren,LIU Junhai.Characteristics of oil and gas migration and accumulation in the Pinghu structural belt,Xihu Depression,East China Sea[J].Marine Geology & Quaternary Geology,2003,23(1):95-102.
- [13] 焦养泉,周海民,刘少峰,等.断陷盆地多层次幕式裂陷作用与沉积充填响应:以南堡老第三纪断陷盆地为例[J].地球科学,1996,21(6):633-636.
JIAO Yangquan,ZHOU Haimin,LIU Shaofeng,*et al.*Multi-stage episodic rifting and its controls on filling in rift basin:taking the Eocene Nanpu rift basin as an example[J].Earth Science,1996,21(6):633-636.
- [14] 杨丽娜,杨东杰.西湖凹陷平北地区地震反射构造特征研究[J].海洋石油,2009,29(3):7-13.
YANG Lina,YANG Dongjie.Research of the structure features of seismic reflection in Pingbei area of Xihu Sag[J].Offshore Oil,2009,29(3):7-13.
- [15] 杨彩虹,王英民,曾广东,等.东海陆架盆地西湖凹陷新生代断-拗转换面的厘定[J].海相油气地质,2014,19(3):18-26.
YANG Caihong,WANG Yingmin,ZENG Guangdong,*et al.*Delimitation of Cenozoic rift-depression transitional unconformity in Xihu Depression,East China Sea Shelf Basin[J].Marine Origin Petroleum Geology,2014,19(3):18-26.
- [16] 邵龙义,董大啸,李明培,等.华北石炭-二叠纪层序-古地理及聚煤规律[J].煤炭学报,2014,39(8):1725-1734.
SHAO Longyi,DONG Daxiao,LI Mingpei,*et al.*Sequence-Paleogeography and coal accumulation of the Carboniferous-Permian in the North China Basin[J].Journal of China Coal Society,2014,39(8):1725-1734.
- [17] 淮银超,杨龙伟,欧 栋.S区块煤层测井识别截止值研究[J].国外测井技术,2016,37(6):22-24.
HUAI Yinchao,YANG Longwei,OU Dong.Study on cutoff value

- of coal seam identifications in Block S[J]. World Well Logging Technology, 2016, 37(6): 22-24.
- [18] 张松扬. 煤层气地球物理测井技术现状及发展趋势[J]. 测井技术, 2009, 33(1): 9-15.
- ZHANG Songyang. Actualities and progresses of coalbed methane geophysical logging technologies [J]. Well Logging Technology, 2009, 33(1): 9-15.
- [19] 侯 颢, 邹长春, 杨玉卿, 等. 测井解释中煤层含气量评价方法对比研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(12): 157-161.
- HOU Jie, ZOU Changchun, YANG Yuqing, *et al.* Comparison study on evaluation methods of coalbed methane gas content with logging interpretation[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 157-161.
- [20] 李增学, 吕大炜, 张功成, 等. 海域区古近系含煤地层及煤层组识别方法[J]. 煤炭学报, 2011, 36(7): 1102-1109.
- LI Zengxue, LYU Dawei, ZHANG Gongcheng, *et al.* Identification methods of coal-bearing strata and coalgroup of Paleogene in sea area[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(7): 1102-1109.
- [21] 沈怀磊, 秦长文, 王东东, 等. 琼东南盆地崖城组煤层的识别方法[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 586-590.
- SHEN Huailei, QIN Changwen, WANG Dongdong, *et al.* Distinguishing methods for coal beds in Yacheng Formation of Qiongdongnan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4): 586-590.
- [22] 鲁 静, 邵龙义, 李文灿, 等. 层序格架内障壁海岸沉积体系古地理背景下聚煤作用[J]. 煤炭学报, 2012, 37(1): 78-85.
- LU Jing, SHAO Longyi, LI Wenchan, *et al.* Paleogeographic evolution and coal accumulation under sequence stratigraphic framework of a barrier coast[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(1): 78-85.
- [23] 宋小勇. 东海盆地西湖凹陷构造样式及其对油气聚集的控制[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007: 45-50.
- [24] 张远兴, 叶加仁, 苏克露, 等. 东海西湖凹陷沉降史与构造演化[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(2): 215-223.
- ZHANG Yuanxing, YE Jiaren, SU Kelu, *et al.* The burial history and evolution of Xihu Depression[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(2): 215-223.
- [25] 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.
- [26] 顾惠荣, 陈琳琳. 东海陆架西湖凹陷宝石一井深层微体化石及地层意义[J]. 古生物学报, 2003, 42(4): 620-623.
- GU Huirong, CHEN Linlin. Microfossils and chronostratigraphy of the deep beds in the well Baoshi No. 1 from Xihu Sag, East China Sea [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2003, 42(4): 620-623.
- [27] 邵龙义, 张鹏飞, 窦建伟, 等. 含煤岩系层序地层分析的新认识: 兼论河北南部晚古生代层序地层格架[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 27-31.
- SHAO Longyi, ZHANG Pengfei, DOU Jianwei, *et al.* New considerations on coal measures sequence stratigraphy: a case study from the Late Paleozoic coal measures in South Hebei [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1999, 28(1): 27-31.