

引用格式: 江东辉, 庄建建, 杏绿芽, 等. 西湖凹陷迎翠轩地区钻遇古新统证据探讨及意义[J]. 油气藏评价与开发, 2025, 5(15): 750-759.

JIANG Donghui, ZHUANG Jianjian, XING Lyuya, et al. Discussion and significance of evidence for Paleocene strata by drilling in Yingcuixuan area of Xihu Sag[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2025, 5(15): 750-759.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2025.05.005

## 西湖凹陷迎翠轩地区钻遇古新统证据探讨及意义

江东辉, 庄建建, 杏绿芽, 张传运, 袁忠鹏, 杨超

(中国石化上海海洋油气分公司勘探开发研究院, 上海 200120)

**摘要:** 东海陆架盆地西湖凹陷新生界发育巨厚沉积, 目前对于西湖凹陷始新统、渐新统及中新统地质条件及成藏研究较多, 但缺乏古新统地层研究。近期研究表明, 西湖凹陷古新统生烃量潜力巨大, 也是一套重要的烃源岩层系, 直接关系到西湖凹陷的油气生成富集。为了搞清古新统地层发育特征及对油气的影响作用, 研究基于西湖凹陷斜坡北段迎翠轩地区J-1井资料, 从4个方面开展区域对比分析认为西湖凹陷J-1井已钻遇古新统地层: ①区域地震相对比认为J-1井深层表现为中—高频、中弱振幅、中—低连续反射, 地层出现明显褶皱,  $T_4^0$ 地震反射界面之下削截, 为古新统地层顶部典型地震相特征。②岩性组合特征对比认为J-1井下部岩性见标志层红褐色泥岩, 指示了古新统辫状河三角洲—湖泊沉积环境。③古生物对比认为研究区古新统孢粉特征与长江凹陷古新统孢粉具有相似性, 且均未见海相有孔虫。④古新世时期形成大型断陷构造, 受基底断裂控制, 断裂下降盘具备发育巨厚古新统的地质条件。通过分析J-1井古新统烃源岩地化特征, 同时对比东海陆架盆地其他凹陷古新统烃源岩地化指标, 认为西湖凹陷古新统发育中等—较好的烃源岩, 具备较大生烃潜力。迎翠轩近洼区发育巨厚古新统烃源岩(暗色泥岩), 是下步寻找规模油气的有利区。研究对于西湖凹陷油气勘探部署具有重要指导意义。

**关键词:** 西湖凹陷; 迎翠轩地区; 古新统; 地震相; 孢粉组合; 生烃潜力

中图分类号: TE122

文献标识码: A

### Discussion and significance of evidence for Paleocene strata by drilling in Yingcuixuan area of Xihu Sag

JIANG Donghui, ZHUANG Jianjian, XING Lyuya, ZHANG Chuanyun, YUAN Zhongpeng, YANG Chao

(Exploration and Development Research Institute, Sinopec Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China)

**Abstract:** The Xihu Sag of the East China Sea Shelf Basin is characterized by thick Cenozoic sediments. Extensive research has been conducted on the geological conditions and hydrocarbon accumulation of the Eocene, Oligocene, and Miocene strata, with limited studies on the Paleocene strata. Recent studies indicate that the Paleocene strata in the Xihu Sag have significant hydrocarbon generation potential and constitute an important source rock system, which plays a key role in oil and gas generation and accumulation in the Xihu Sag. To clarify the development characteristics of the Paleocene strata and their implications for oil and gas accumulation, this study analyzed data from well J-1 in the Yingcuixuan area, located in the northern slope segment of the Xihu Sag. Four lines of evidence supported that well J-1 has penetrated the Paleocene strata: (1) regional seismic correlation suggested that the deep layers of well J-1 exhibited medium-to-high frequency, medium-to-weak amplitude, and medium-to-low continuity reflections, with distinct stratigraphic folding. The strata below the  $T_4^0$  seismic reflection interface showed truncation features, which are typical seismic facies characteristics of the top of the Paleocene strata. (2) Lithological assemblage comparison revealed that the lower section of well J-1 contained marker layers of reddish-brown mudstone, indicating a Paleocene lake-delta depositional environment. (3) Palynological comparison showed that the Paleocene sporopollen characteristics in the study area were similar to those in the Changjiang Sag, both lacking marine foraminifera. (4) During the Paleocene, a large fault-depression structure formed, controlled by basement faults. The downthrow side of a fault provided favorable geological conditions for the formation of thick Paleocene strata. By analyzing the geochemical characteristics of the Paleocene source rocks in well J-1 and

收稿日期: 2024-11-13。

第一作者简介: 江东辉(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 从事海洋石油地质和区域地质研究。地址: 上海市浦东新区商城路1225号1号楼, 邮政编码: 200120。E-mail: jiangdonghui.shhy@sinopec.com

通信作者简介: 庄建建(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事海洋石油地质研究。地址: 上海市浦东新区商城路1225号1号楼, 邮政编码: 200120。E-mail: zhuangjianjian.shhy@sinopec.com

基金项目: 中国石化科研项目“海域重点增储与突破领域勘探潜力及目标评价”(YTBXD-CGKT-2022-1-02-010-SH)。

comparing them with geochemical indicators from other sags in the East China Sea Shelf Basin, it was concluded that the Paleocene strata in the Xihu Sag host medium-to-good source rocks with significant hydrocarbon generation potential. This study provides valuable guidance for oil and gas exploration deployment in the Xihu Sag. The findings suggest that the area near the depression in the Yingcuixuan area is favorable for large-scale oil and gas exploration due to the development of thick Paleocene source rocks (dark mudstone).

**Keywords:** Xihu Sag; Yingcuixuan area; Paleocene; seismic facies; sporopollen assemblage; hydrocarbon generation potential

西湖凹陷位于东海陆架盆地东部凹陷带,是中国近海最大的含油气凹陷,面积约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,自西向东划分为五大区带:保俶斜坡、三潭深凹、中央背斜带、白堤深凹及天屏断阶带。经过数十年的勘探,西湖凹陷已经发现多个大中型油气田,油气资源十分丰富。西湖凹陷已发现油气多位于始新统平湖组、宝石组及渐新统花港组地层,近年来在浅层中新统也钻遇较好油气层,显示了西湖凹陷作为叠合盆地,具备多层系立体勘探的巨大潜力。然而,多年来对于西湖凹陷古新统地层发育特征存在争议,朱立新等<sup>[1]</sup>通过对西湖凹陷构造格架分析认为古新统原型盆地具有多断洼并列特征;陈琳琳等<sup>[2]</sup>从地震和构造控相角度推测西湖凹陷斜坡北部发育古新统沉积,但缺乏井资料证据;许怀智等<sup>[3]</sup>基于锆石U-Pb同位素测年认为长江凹陷钻井已钻遇早古新世地层( $61.00 \pm 0.87 \text{ Ma}$ ),且通过区域地震追踪解释认为西湖凹陷也广泛发育古新统地层,残余厚度达800~2 000 m。也有学者认为东海陆架盆地中的瓯江凹陷已有钻井明确揭示古新统地层,但西湖凹陷无钻井揭示古新统地层,且断陷早期未发现古新统的典型深湖相沉积<sup>[4-5]</sup>。总体而言,前人对于西湖凹陷古新统地层的探讨,大多是从盆地构造演化的角度所做的一些推论认识,缺乏直接的井资料及区域对比分析。研究通过对比分析西湖凹陷保俶斜坡北段迎翠轩地区J-1井及其他井地震资料,认为西湖凹陷北部发育巨厚古新统地层,从西斜坡往三潭深凹厚度逐渐增大,预测最厚或超过5 000 m。古新统地层对油气影响巨大,据中国石化“十四五”资源评价估算,西湖凹陷古新统生烃量高达 $1.112 \times 10^8 \text{ t}$ ,是一套重要的烃源岩层系,直接关系到油气生成富集。研究以钻井资料为基础,结合地震、构造等多要素分析认为,西湖凹陷斜坡北段迎翠轩地区已钻遇古新统地层,且具有较好的油气潜力,指示迎翠轩近洼区是寻找规模油气区的有利方向。

## 1 地质背景

### 1.1 构造特征

迎翠轩地区位于西湖凹陷保俶斜坡北部(图1),西侧紧靠海礁凸起和长江凹陷,是在迎翠轩古鼻隆背景上经历多期构造演化形成的断阶构造带。根据区域构造演

化研究<sup>[1]</sup>,迎翠轩地区经历了断陷期、拗陷期、区域沉降期3个构造演化阶段,主要受区域拉张应力场作用,形成了NNE、NE向和NW、NWW向共两组断层。通过对研究区三维地震资料精细解释,NNE、NE向断层分布较广,断层以东倾向正断层为主,为该区主要断裂体系,控制了始新统平湖组、宝石组沉积构造特征,圈闭类型以断背斜、断鼻、断块为主。其中,竹径一通幽断层是迎翠轩地区规模最大的断裂,以此断层为界可将研究区划分为高带和低带。而NW、NWW向断层控制了古新统沉积构造特征,该类断层主要发育在深部基底面( $T_g$ 地震反射界面)附近(图2),控制形成了研究区巨厚的古新统地层。

### 1.2 沉积特征

古新世时期,受基底NNW及SN向早期断层控制,迎翠轩地区发育大型断洼,由西南构造高部位提供物源,该时期发育辫状河三角洲向湖泊过渡的环境。J-1井岩性主要为砂泥薄互层,泥岩含量高,也反映了辫状河三角洲前缘—滨浅湖过渡的沉积环境。该区古新统发现红褐色泥岩标志层,且未见海相有孔虫生物发育,该特征与长江凹陷C-1井古新统(已证实为辫状河三角洲—湖泊相)特征相似,因此,推断迎翠轩地区高带在古新统主要是辫状河三角洲平原—前缘相沉积,低带主要为辫状河三角洲前缘—湖泊相沉积(图3)。

始新统宝石组—平湖组沉积时期,前期区域研究表明<sup>[6-8]</sup>,西侧物源主要来自海礁凸起(图4)。研究区已钻J-1井、T-1井宝石组—平湖组砂体以厚层细砂岩、含砾细砂岩为主,自然伽马曲线呈箱形、钟形,粒度正态概率曲线呈正偏态,单一多峰,两段式,由跳跃总体和悬浮总体组成,水动力条件强,表现出河流三角洲的沉积特征。元素地球化学方面,碎屑岩中的Sr/Cu、Sr/Ba、V/Cr值对沉积时期的气候条件、古盐度、氧化还原条件研究具有重要的指示意义<sup>[9-11]</sup>。J-1井、T-1井宝石组—平湖组Sr/Ba值介于0.01~0.37, Sr/Cu值介于3.18~26.28, V/Cr值介于0.12~1.27,整体为偏干热气候、淡水—微咸水的氧化环境沉积。综合分析认为迎翠轩地区宝石组—平湖组主要发育辫状河三角洲平原—前缘沉积体系。

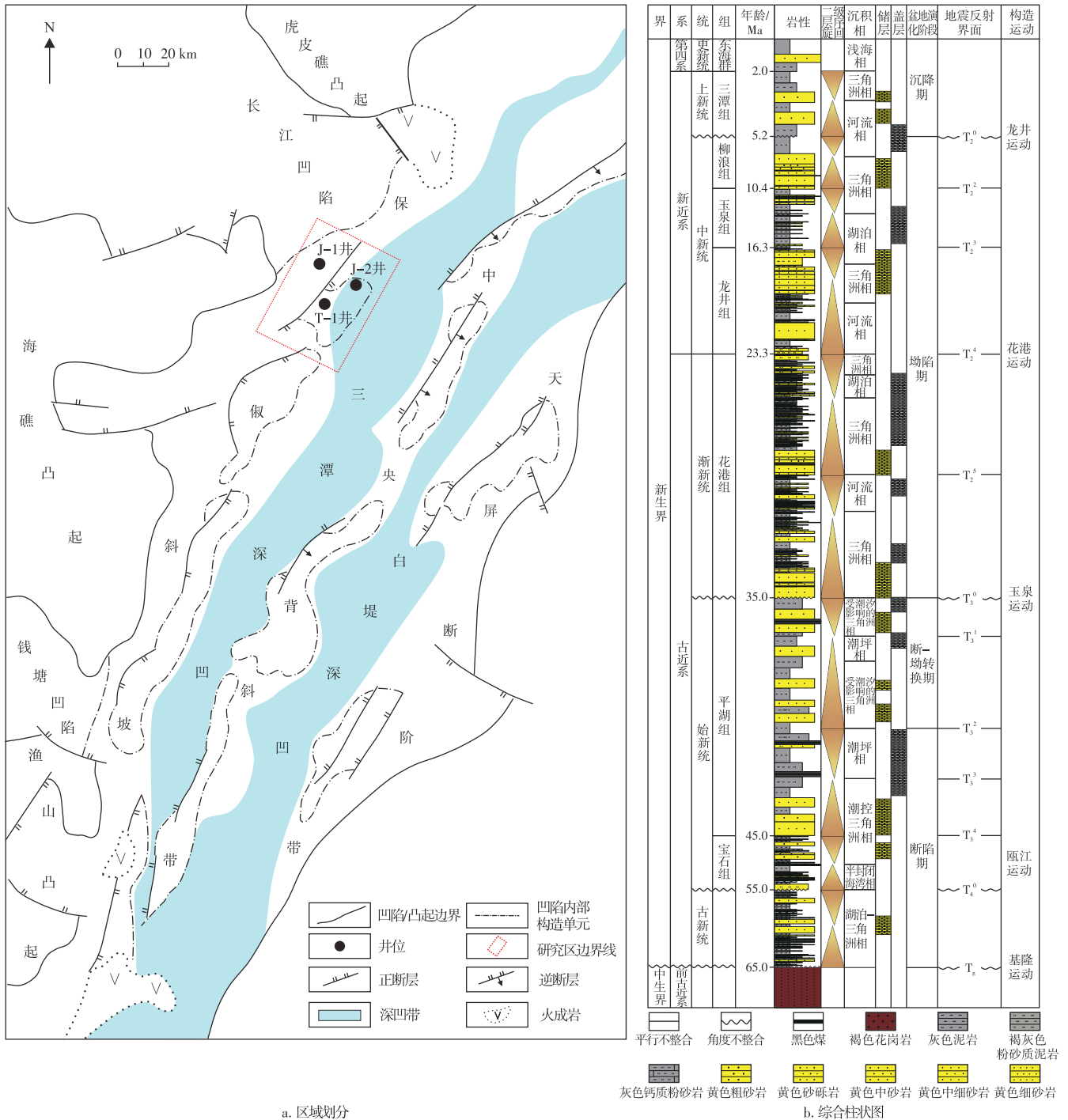


图1 西湖凹陷区域划分及综合柱状图

Fig. 1 Regional division and comprehensive stratigraphic column of Xihu Sag

## 2 迎翠轩地区勘探简况

研究区经历三个勘探阶段,共钻探3口探井。第一阶段为20世纪90年代,于研究区东侧低带净寺背斜钻探J-2井,该井在花港组钻遇厚达628 m的连续砂岩,但由于缺乏沟源断裂,该井未见油气。第二阶段为2018年于研究区高带吉庆构造上钻探的J-1井,该井在平湖组、宝石组同样发育巨厚砂岩,完钻层位古新统。由于缺乏有

效储盖组合,且断层无法有效封堵,因此平湖组、宝石组也未见油气。但值得注意的是,该井古新统地层下部有两套砂岩气测全烃最高达6%,为干层(含气),指示深层古新统具有一定油气潜力。第三阶段为2024年在研究区南侧低带通幽构造上钻探的T-1井,该井从花港组至平湖组揭示连续巨厚砂体达952 m,发现气层和特低渗气层厚度累计近百米,一举实现保俶斜坡北部油气突破,也证明了西湖凹陷北部近洼巨厚砂岩发育区具备巨大的油气潜力。

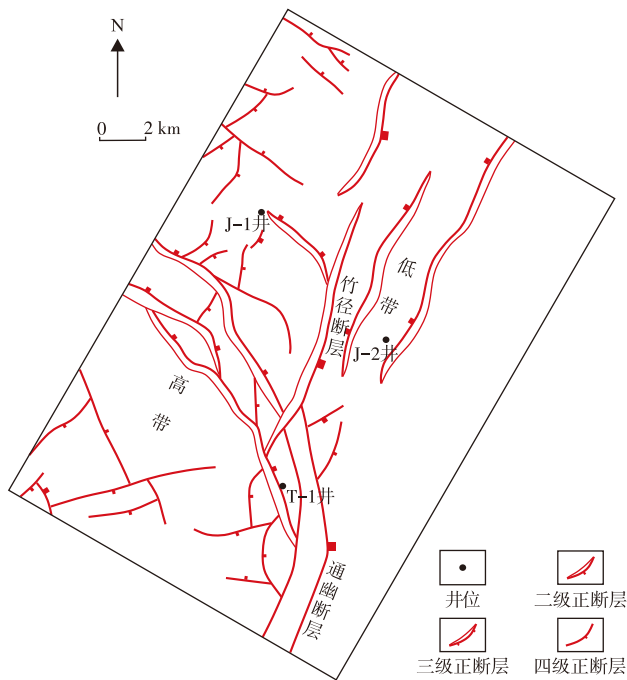


图2 西湖凹陷迎翠轩地区基底断裂分布

Fig. 2 Basement fault distribution in Yingcuixuan area, Xihu Sag

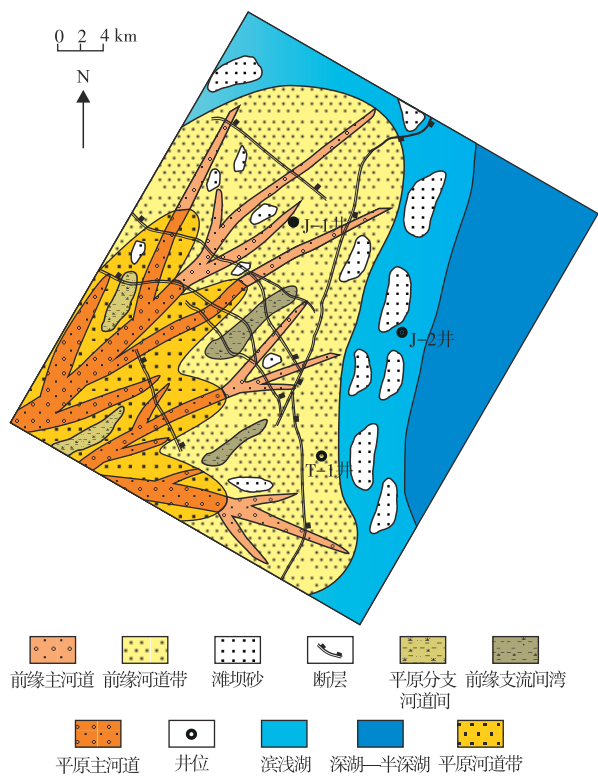


图3 西湖凹陷迎翠轩地区古新统沉积相

Fig. 3 Paleocene sedimentary facies map in Yingcuixuan area, Xihu Sag

### 3 古新统地层发现证据

西湖凹陷迎翠轩地区J-1井揭示了古新世以来较完整的地层序列(图1b)。受瓯江运动作用,  $T_4^0$ 地震反射界

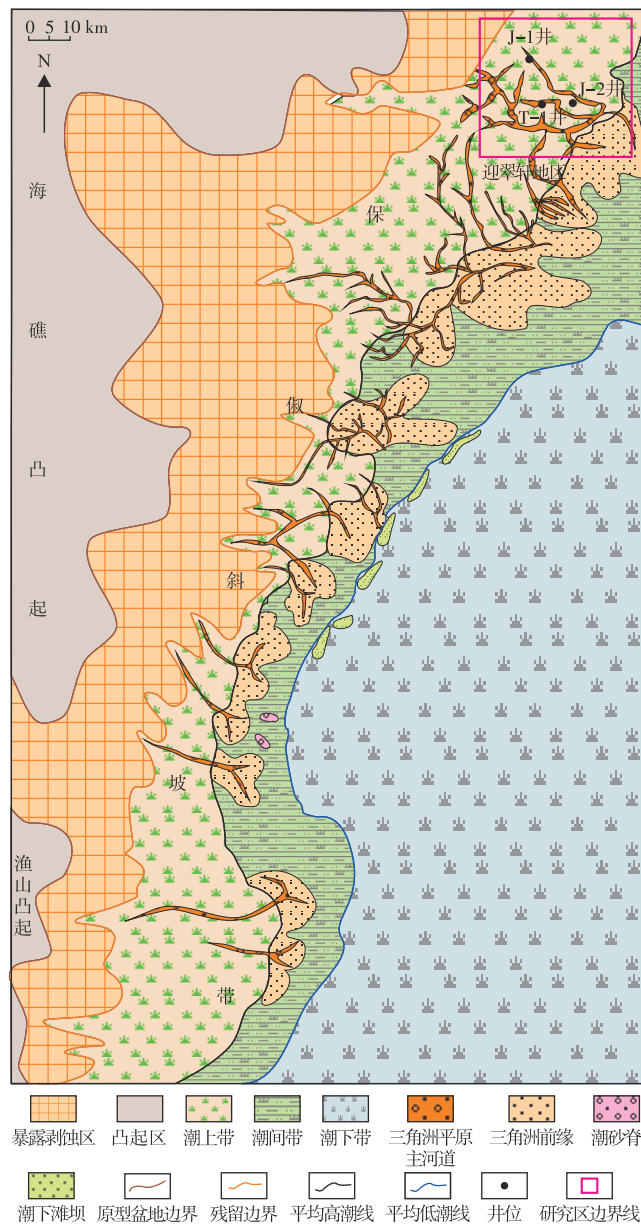


图4 西湖凹陷保俶斜坡带平湖组沉积相

Fig. 4 Sedimentary facies of Pinghu Formation in Baochu Slope Belt, Xihu Sag

面表现为角度不整合面,界面之上为始新统,之下为古新统地层。早期已有钻井在东海陆架盆地南部的瓯江凹陷和其北部的长江凹陷钻遇古新统地层,典型代表井是瓯江凹陷的S-1井和长江凹陷的C-1井。研究将从古新统地震相、岩性组合特征与之进行对比,同时结合迎翠轩地区J-1井钻遇古生物特征、基底断裂控沉积特征4个角度论证西湖凹陷迎翠轩地区钻遇古新统地层。

#### 3.1 区域地震相对比

从长江凹陷过C-1井地震剖面看(图5a),  $T_4^0$ 界面之下为中—高频、中弱振幅、中—低连续反射特征;界面之上为中弱振幅、中—低频、较连续性反射特征。古新统地层出现明显褶皱,始新统地层披覆于古新统地层之上,形

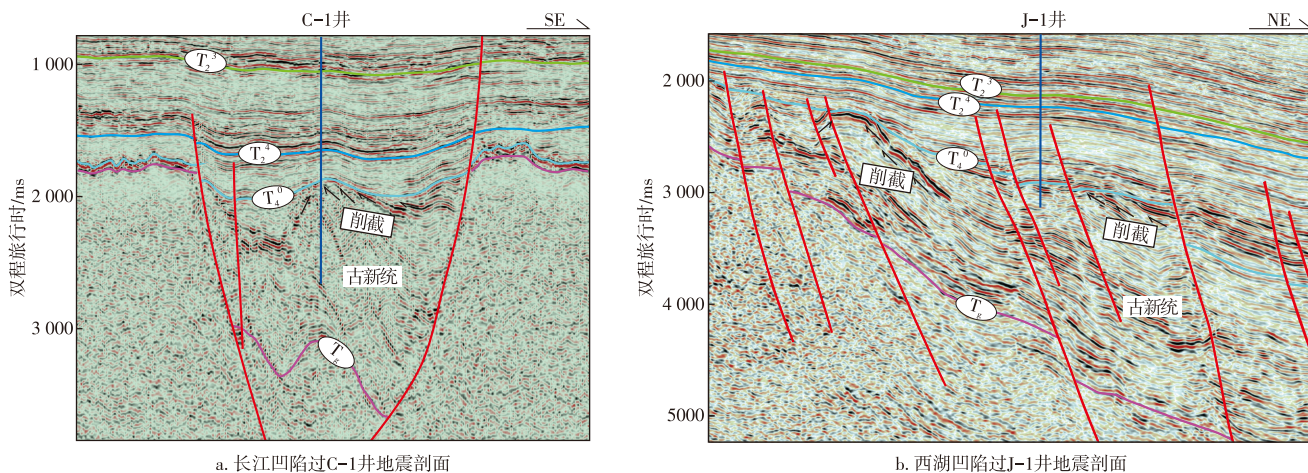


图5 东海陆架盆地区域地震剖面对比

Fig. 5 Comparison of regional seismic profiles across East China Sea Shelf Basin

成角度不整合,表明晚古新世—早始新世时期,受瓯江运动影响,研究区古新统地层遭受剥蚀,在地震剖面上表现为 $T_4^0$ 界面上下地震同向轴排列组合方式发生变化, $T_4^0$ 界面之下会有明显的地层削截现象。

对比长江凹陷C-1井,西湖凹陷J-1井也揭示了 $T_4^0$ 界面(图5b)。J-1井 $T_4^0$ 界面之下地层同样具有明显褶皱变形,与上覆地层呈明显角度不整合接触,也存在明显削截特征,且下部地层表现为中—高频、中弱振幅、中—低连续反射特征;上部砂岩地层主要表现为中—低频、中弱振幅、较好连续性反射特征。因此,整体上J-1井下部地震相特征与C-1井相似,这也是其钻遇古新统地层的证据之一。

### 3.2 岩性组合特征

根据前人研究成果,东海陆架盆地南部瓯江凹陷S-1井已揭示古新统地层<sup>[12-14]</sup>,岩性组合表现为砂泥岩互层,泥岩含量较多。北部长江凹陷C-1井也证实钻遇古新统地层<sup>[3]</sup>,下段岩性为灰色、深灰色、黑色泥岩和粉砂质泥岩与浅灰色、灰白色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩和粗砂岩互层;上段岩性逐渐变粗,为浅灰色、灰白色砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩、粉砂岩夹深灰色、灰白色泥岩、粉砂质泥岩,表现为湖泊相;顶部可见少量红色泥岩发育,指示一定程度的氧化环境,表明晚古新世过渡为三角洲平原河道沉积。

从西湖凹陷J-1井与长江凹陷C-1井地层对比可看出(图6):J-1井下部岩性特征与C-1井古新统中上部岩性组合相似,均为砂泥岩薄互层组合,主要为浅灰色砂砾岩、粗砂及细砂岩,砂地比介于29%~35%,砂岩粒度普遍较粗,反映了近物源特点。同时,J-1井在4 130 m深度附近也可见红褐色、褐色泥岩,这与C-1井古新统上部红

色泥岩特征相似,也说明了J-1井钻遇了古新统地层,该时期为辫状河三角洲—湖泊的沉积环境。

### 3.3 孢粉及地化特征

孢粉组合类型可间接指示沉积环境类型,西湖凹陷迎翠轩地区古新统孢粉特征与长江凹陷古生物具有很强的可对比性。据中国石化上海海洋油气分公司研究资料,长江凹陷C-1井古新统孢粉化石为Taxodiaceae pollenites(杉粉属)—Ulmi pollenites(榆粉属)—Momi pites(拟榛粉属)—Aquila pollenites(鹰粉属)组合,以被子植物花粉为主,占比介于58.6%~59.9%;其次为裸子植物花粉,占比介于26.7%~30.2%;蕨类孢子占比较少,介于9.9%~14.7%。

类似于长江凹陷C-1井,西湖凹陷J-1井古新统地层也是被子植物花粉占优势,蕨类孢子和裸子植物花粉相对较少。其主要的孢粉化石为Tiliae pollenites(椴粉属)—Taxodiaceae pollenites(杉粉属)—Momi pites(拟榛粉属)组合。总体看2口井的孢粉组合特征较相似,且均未见到典型的海相古生物有孔虫,由此可推断西湖凹陷迎翠轩地区发育古新世陆相沉积环境,因此,这也是J-1井钻遇古新统的证据之一。

此外,通过植烷系列的组成特征姥植比也能反映地层沉积环境。一般而言,煤系源岩及其所生原油常具有较高的姥植比(Pr/Ph),而湖相和海相烃源岩及其所生原油中姥植比一般较低<sup>[15]</sup>。通过对J-1井烃源岩抽提物进行分析,古新统烃源岩的Pr/Ph均值为1.45,整体分布在1.00左右,仅煤样的Pr/Ph值大于2.00。在Pr/nC<sub>17</sub>、Ph/nC<sub>18</sub>和Pr/Ph三角图上(图7),J-1井古新统的泥岩样品主要表现出湖沼相和淡水湖相特征,也进一步指示J-1井钻遇古新统地层,沉积环境以淡水湖泊为主。

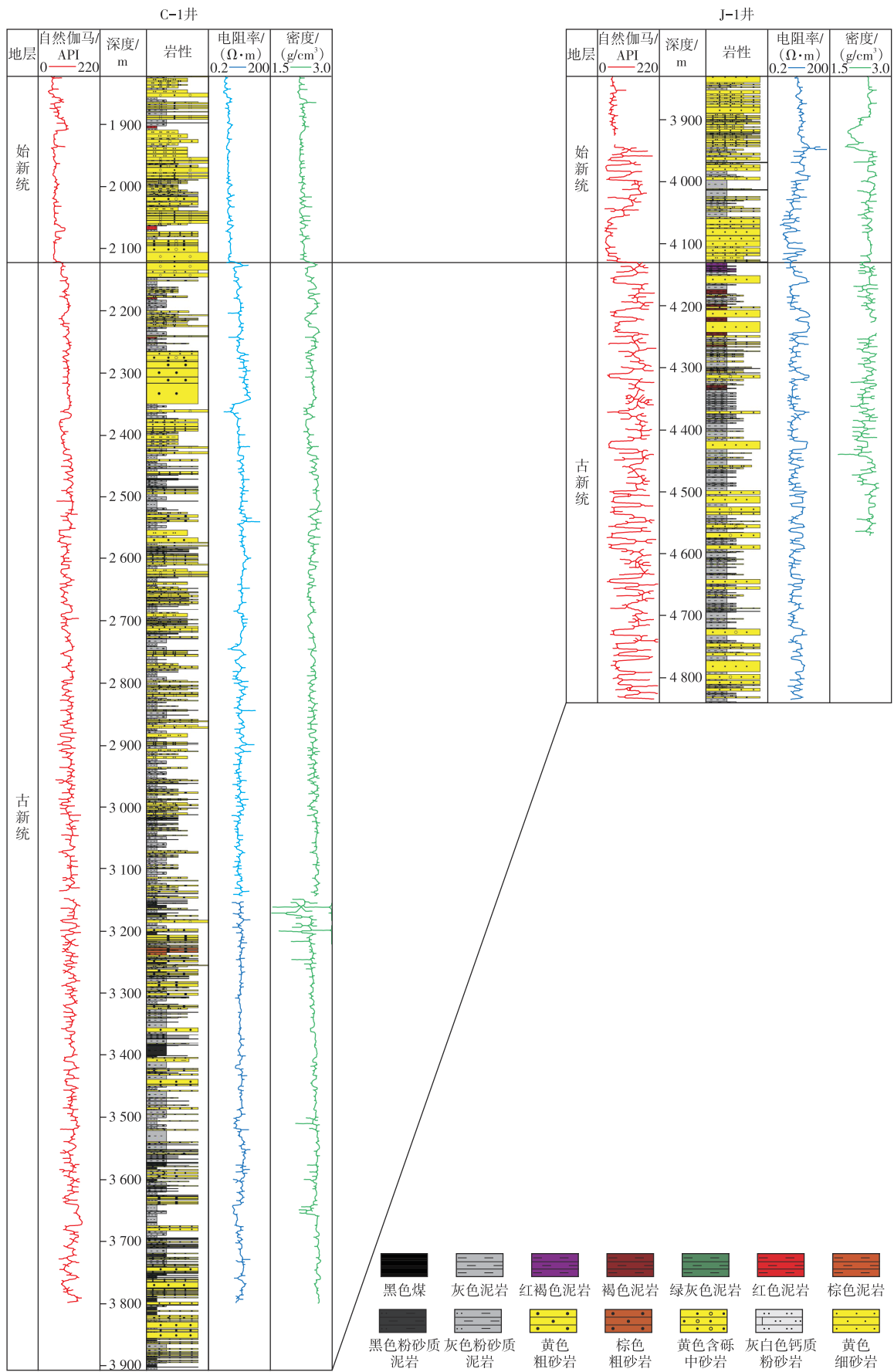
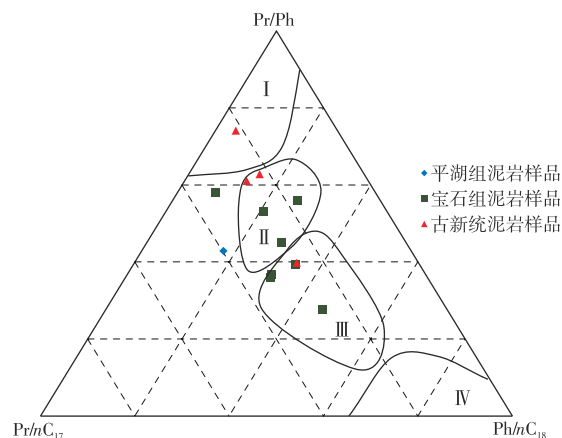


图6 长江凹陷C-1井与西湖凹陷J-1井古新统地层对比

Fig. 6 Comparison of Paleocene strata between well C-1 in Changjiang Sag and well J-1 in Xihu Sag



注: I 为湖沼相成因; II 为淡水湖相成因; III 为半咸水—咸水环境成因; IV 为盐湖相成因; Pr 为姥鲛烷; Ph 为植烷;  $nC_{17}$  为正十七烷;  $nC_{18}$  为正十八烷。

图7 Pr/ $nC_{17}$ 、Ph/ $nC_{18}$  和 Pr/Ph 三角图

Fig. 7 Ternary diagram of Pr/ $nC_{17}$ , Ph/ $nC_{18}$ , and Pr/Ph

### 3.4 基底断裂控沉积作用

从板块构造演化来看,在晚侏罗世—早白垩世早期,受燕山运动二幕影响,断裂由晚侏罗世的右行走滑转换为左行走滑<sup>[6]</sup>。由于受伊泽奈岐板块俯冲后撤的影响,东海陆架盆地向东伸展扩张,形成地堑或半地堑式的盆地结构特征。此时,西湖凹陷迎翠轩地区古新统及前古近系地层形成多条 NW 向断层(图 8),这些断层延伸长度普遍达 10 km 以上,规模较大。通幽断层为该区规模最大的控沉积断层,其古新统地层断距近千米,控制了古新世时期西侧大物源输送的沉积物,在断层下降盘形成巨厚的古新统地层。因此,从基底断裂控沉积作用看,研究区具备发育巨厚古新统地层的地质条件。

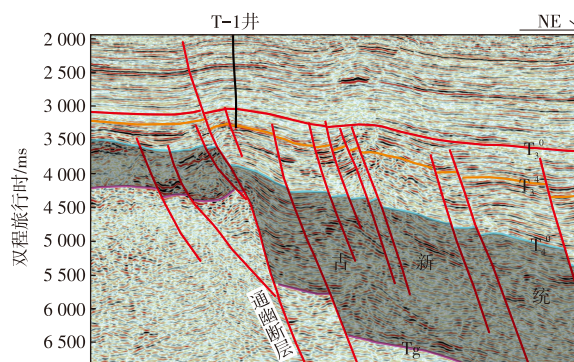


图8 西湖凹陷迎翠轩地区垂直基底断裂地震剖面

Fig. 8 Seismic profile showing vertical basement faults in Yingcuiyuan area, Xihu Sag

## 4 古新统地层油气指示意义

### 4.1 古新统生烃潜力分析

研究对比了东海陆架盆地西湖凹陷、长江凹陷、瓯江凹陷相关井古新统的烃源岩发育情况。从烃源岩发育厚度来看,西湖凹陷 J-1 井古新统以暗色泥岩为主,钻遇古新统地层厚度为 816.9 m,暗色泥岩厚度达 280 m(未穿),泥地比达到 53.1%。瓯江凹陷已钻井揭示烃源岩层厚度高达 1 020 m,烃源岩分布范围从月桂峰组、灵峰组到明月峰组逐渐减小<sup>[17]</sup>。长江凹陷 C-1 井钻遇古新统暗色泥岩厚度达 901 m,占地层厚度比例为 50.5%<sup>[18]</sup>。

西湖凹陷迎翠轩地区 J-1 井古新统钻遇厚层暗色泥岩,对其中 4 个岩屑样品进行了分析评价(表 1、表 2)。暗色泥岩样品 Pr/Ph 值介于 0.82~2.86,干酪根属于 II<sub>1</sub> 型,指示暗色泥岩沉积环境为较强的还原环境<sup>[19]</sup>。 $\omega$ (TOC)(总有机碳含量)介于 0.62%~1.05%,平均为 0.80; $S_1+S_2$

表 1 东海陆架盆地古新统烃源岩有机地化特征统计(部分)

Table 1 Statistics of organic geochemical characteristics of Paleocene source rocks in East China Sea Shelf Basin (selected data)

区域位置 层位	岩性	井号	有机质丰度	有机质 类型	有机质成熟度	生烃潜力 评价
长江凹陷 (美人峰组)	灰黑色泥岩	M1 井	$\omega$ (TOC)介于 0.08%~2.13%,均值为 0.72%; $S_1+S_2$ 介于 0.02~1.34 mg/g	II-III 型,含少量 II 型	成熟阶段	中等
	灰色、深灰色、灰白色、黑色泥岩	CJ-1 井、 CJ-2 井	$\omega$ (TOC)介于 0.2%~3.4%,均值为 1.3%; $S_1+S_2$ 介于 0.02~5.40 mg/g,均值为 0.80 mg/g		成熟阶段	中等—好
瓯江凹陷 (月桂峰组)	褐黑色、灰黑色泥岩	IS36-1-1 井、 WZ26-1-1 井	$\omega$ (TOC)均值为 2.11%; $S_1+S_2$ 均值为 4.15 mg/g	III 型	低熟—成熟阶段	中等—好
	暗色泥岩	W4 井	$\omega$ (TOC)介于 1.86%~3.75%,均值为 2.57%; $S_1+S_2$ 介于 3.20~15.29 mg/g,均值为 8.61 mg/g	II <sub>1</sub> -II <sub>2</sub> 型	好—很好	
西湖凹陷 (古新统)	暗色泥岩	JJ4-1 井、 JJ6-1 井	$\omega$ (TOC)介于 1.86%~2.65%,均值为 2.31%; $S_1+S_2$ 介于 3.20~9.46 mg/g,均值为 7.46 mg/g		未低熟—低成熟阶段	好—很好
		暗色泥岩	J-1 井	$\omega$ (TOC)介于 0.62%~1.05%,均值为 0.80%; $S_1+S_2$ 介于 0.90~2.01 mg/g,均值为 1.31 mg/g	II <sub>1</sub> 型	成熟阶段

表2 西湖凹陷迎翠轩地区J-1井烃源岩部分地球化学指标  
Table 2 Geochemical Indicators for the Source Rocks from Well J-1

层位	岩性	深度/m	Pr/Ph值	主峰碳	$\omega(\text{TOC})/\%$	$S_1+S_2/(\text{mg/g})$	$T_{\text{max}}/^\circ\text{C}$
古新统	泥岩	4 460~4 480	2.86	$n\text{C}_{25}$	0.87	1.31	450
古新统	泥岩	4 620~4 640	1.71	$n\text{C}_{24}$	1.05	2.01	451
古新统	泥岩	4 700~4 720	0.82	$n\text{C}_{17}$	0.65	1.00	456
古新统	泥岩	4 820~4 840	1.62	$n\text{C}_{17}$	0.62	0.90	456

(生烃潜量)介于0.90~2.01 mg/g,平均为1.31 mg/g,根据烃源岩评价标准<sup>[20]</sup>,4个样品均达到中等至好烃源岩标准。J-1井位于洼陷边缘较高位置,尚且发育中等烃源岩,而迎翠轩地区东侧靠近洼陷中心为湖相沉积(图3),因此,推测洼陷中心极大可能发育更优质的古新统深湖相烃源岩。相比之下,瓯江凹陷LS36-1-1井、WZ26-1-1井古新统月桂峰组 $\omega(\text{TOC})$ 均值为2.11%, $S_1+S_2$ 均值为4.15 mg/g,可溶有机质氯仿沥青“A”含量也达1.147‰,以Ⅲ型有机质为主,生烃潜力中等—好,整体为低熟—成熟烃源岩<sup>[17]</sup>。JJ4-1井在月桂峰组测得 $\omega(\text{TOC})$ 均值为2.31%, $S_1+S_2$ 均值更是高达7.46 mg/g<sup>[21]</sup>。作为对照,东海陆架盆地西部的长江凹陷M1井古新统美人峰组 $\omega(\text{TOC})$ 介于0.08%~2.13%, $S_1+S_2$ 介于0.02~1.34 mg/g,属于中等丰度烃源岩<sup>[22-24]</sup>。

古新统烃源岩成熟度门限深度大约为2 650 m,对应 $R_0$ (镜质体反射率)约为0.55%,排烃门限则在3 450 m左右。西湖凹陷迎翠轩地区古新统现今埋深普遍超过3 800 m,且烃源岩最高热解峰温( $T_{\text{max}}$ )介于450~456 °C(表2),说明古新统烃源岩已经成熟,进入大量生油气阶段。迎翠轩地区J-1井在古新统4 721~4 731 m、4 744~4 753 m出现较高的气测异常,总烃含量分别为6.07%和2.81%,但由于物性较差(孔隙度分别为8.3%和7.4%,渗透率分别为 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),综合解释为干层含气,分析认为是古新统可以作为烃源岩的可靠证据。此外,前期勘探显示瓯江凹陷WZ26-1-1井在古新统月桂峰组底部获少量轻质油,LS36-1-1井在古新统明月峰组获得高产气流和少量凝析油,LF1井在基底片麻岩中获少量轻质油。根据烃源岩饱和烃生物标志化合物分析:WZ26-1-1井和LF1井原油来自古新统月桂峰组烃源岩,LS36-1-1井凝析油来自上古新统烃源岩,其天然气为下古新统湖相泥岩与上古新统滨浅海相泥岩混合来源<sup>[25]</sup>。

总体而言,通过分析烃源岩地化特征及油气源对比,认为东海陆架盆地各凹陷古新统烃源岩品质属于中等—较好,具备较好的生烃潜力。

#### 4.2 规模油气区勘探方向

基于盆地模拟方法对西湖凹陷迎翠轩地区古新统烃

源岩(暗色泥岩)分布进行预测(图9),显示竹径—通幽断层下降盘古新统烃源岩(暗色泥岩)更发育,厚度最高达4 000 m,推测断层下降盘近洼区生烃潜力巨大。深层古新统油气可沿断裂运移至上部的平湖组、宝石组成藏富集,T-1井平湖组、宝石组的油气发现已经验证了近洼区是油气富集区。目前,迎翠轩地区近洼区评价落实圈闭资源量高达 $1 600 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是寻找规模油气的有利地区,后续将围绕迎翠轩近洼区持续扩储,有望在该区形成探明 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的规模储量阵地。

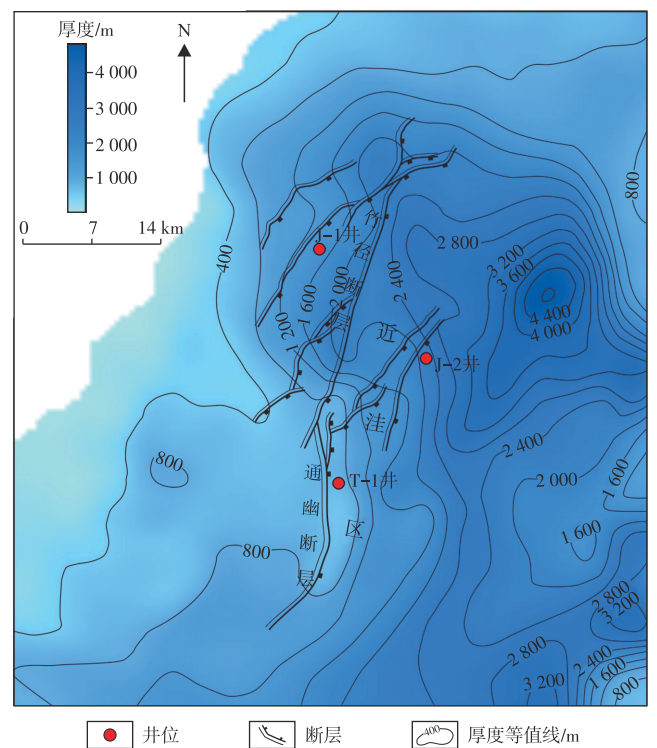


图9 西湖凹陷迎翠轩地区古新统暗色泥岩厚度

Fig. 9 Thickness of Paleocene dark mudstones in Yingcuiquan area, Xihu Sag

## 5 结论与认识

1) 以钻井资料为基础,通过区域对比分析,认为西湖凹陷迎翠轩地区J-1井钻遇古新统地层。主要有4点证据:①区域地震相对比分析显示,古新统顶界面( $T_4^0$ )之下为中—高频、中弱振幅、中—低连续反射特征,地层

出现明显褶皱,  $T_4^0$  界面之下削截, 界面之上具有上超特征, 这与长江凹陷古新统地震相特征较一致; ②岩性组合特征对比显示, J-1 井下部岩性与 C-1 井古新统相似, 均为砂泥岩互层, 砂岩中多含砾。尤其 J-1 井与 C-1 井在古新统地层顶部均见标志层红褐色泥岩, 指示了古新统辫状河三角洲—湖泊沉积环境; ③孢粉及地化资料显示, 迎翠轩地区古新统孢粉特征与长江凹陷古新统孢粉具有相似性, 2 口井被子类孢粉、裸子类孢粉含量及属种接近, 且均未见海相有孔虫。从姥植比特征看, J-1 井古新统泥岩也表现出湖沼相和淡水湖相特征; ④研究区 NW 向断层形成于古新世, 受这类断层控制, 古新世时期形成大型断陷结构, 下降盘可容纳空间大, 具备发育巨厚古新统的地质条件。

2) 通过对比东海陆架盆地各个凹陷古新统烃源岩特征, 认为西湖凹陷古新统具备中等—较好的生烃潜力。西湖凹陷北部近洼区古新统沉积厚度大, 生烃物质基础好, 是下步寻找规模油气的有利区。

#### 参考文献

- [1] 朱立新, 宋在超. 东海西湖凹陷原型盆地构造格架与演化分析[J]. 海洋石油, 2016, 36(1): 1-6.  
ZHU Lixin, SONG Zaichao. Analysis of tectonic framework and evolution of prototype basin in Xihu Sag of the East China Sea[J]. Offshore Oil, 2016, 36(1): 1-6.
- [2] 陈琳琳, 高月华, 李昆, 等. 西湖凹陷迎翠轩地区古新统沉积相及成藏条件探讨[J]. 海洋石油, 2016, 36(3): 13-19.  
CHEN Linlin, GAO Yuehua, LI Kun, et al. Discussion on sedimentary facies and hydrocarbon accumulation conditions of Paleocene in Yingcuixuan area, Xihu Sag[J]. Offshore Oil, 2016, 36(3): 13-19.
- [3] 许怀智, 张迎朝, 蒋一鸣, 等. 东海盆地长江凹陷美人峰组的时代归属及其地质意义[J]. 地质学报, 2022, 96(6): 1972-1984.  
XU Huaizhi, ZHANG Yingzhao, JIANG Yiming, et al. Age assignment and geological significance of Meirenfeng Formation in the Yangtze River sag, East China Sea basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(6): 1972-1984.
- [4] 钟锴, 朱伟林, 高顺利, 等. 东海陆架盆地形成演化及油气成藏关键地质问题[J]. 地球科学, 2018, 43(10): 3485-3497.  
ZHONG Kai, ZHU Weilin, GAO Shunli, et al. Key geological questions of the formation and evolution and hydrocarbon accumulation of the East China Sea shelf basin[J]. Earth Science, 2018, 43(10): 3485-3497.
- [5] ZHU W L, ZHONG K, FU X W, et al. The formation and evolution of the East China Sea shelf basin: A new view[J]. Earth-Science Reviews, 2019, 190: 89-111.
- [6] 周平. 东海西湖凹陷始新统沉积环境及含油气性[J]. 上海地质, 1994, 15(2): 19-25.  
ZHOU Ping. Eocene sedimentary environment and oil and gas bearing features of Xihu sag in the shelf basin of the East China Sea[J]. Shanghai Geology, 1994, 15(2): 19-25.
- [7] 陈琳琳, 王丽顺. 西湖凹陷平湖组( $E_2^{2-3}$ )半咸水有孔虫群特征分析及其指相意义[J]. 上海地质, 1995, 16(1): 32-37.  
CHEN Linlin, WANG Lishun. Palaeoecologic analysis of brackish water foraminifers in Pinghu formation( $E_2^{2-3}$ ) of Xihu Sag[J]. Shanghai Geology, 1995, 16(1): 32-37.
- [8] 彭治超, 李亚男, 张孙玄琦, 等. 主微量元素地球化学特征在沉积环境中的应用[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2018, 21(3): 108-111.  
PENG Zhichao, LI Yanan, ZHANG Sunxuanqi, et al. Application of the geochemical characteristics of the major and trace elements in the sedimentary environment[J]. Journal of Xi'an University(Natural Science Edition), 2018, 21(3): 108-111.
- [9] 温孝胜, 赵焕庭, 王丽荣. 南沙群岛南永3井岩心常量和微量元素特征及其古环境意义[J]. 海洋通报, 2001, 20(4): 32-38.  
WEN Xiaosheng, ZHAO Huanting, WANG Lirong. Characteristics of the constant and trace elements and their paleo-environmental significance in the core of Nanyong-3 Well, Nansha Islands[J]. Marine Science Bulletin, 2001, 20(4): 32-38.
- [10] 李浩, 徐怀民, 王千军, 等. 准东地区平地泉组微量元素地球化学特征及油气地质意义[J]. 断块油气田, 2023, 30(2): 277-285.  
LI Hao, XU Huaimin, WANG Qianjun, et al. Geochemical characteristics and petroleum geological significance of trace elements of Pingdiquan Formation in eastern Junggar Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2023, 30(2): 277-285.
- [11] 高秦, 厉子龙, 陈燕婷, 等. 晚更新世以来杭州湾沉积地球化学特征对源-汇过程的启示[J]. 地球化学, 2024, 53(3): 454-478.  
GAO Qin, LI Zilong, CHEN Yanting, et al. Implications of sedimentary geochemical characteristics for source-sink processes in Hangzhou Bay since the Late Pleistocene[J]. Geochimica, 2024, 53(3): 454-478.
- [12] 陶国保, 梁连喜, 朱平. 浙闽近海瓯江凹陷新生代地质构造发展特征[J]. 地质科学, 1992, 27(1): 1-9.  
TAO Guobao, LIANG Lianxi, ZHU Ping. Characteristics of Cenozoic geologic and tectonic development of the Oujiang depression in Zhejiang-Fujian offshore sea[J]. Chinese Journal of Geology(Scientia Geologica Sinica), 1992, 27(1): 1-9.
- [13] 吕成福, 陈国俊, 梁建设, 等. 东海陆架盆地瓯江凹陷古近系沉积演化[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(8): 1-7.  
LYU Chengfu, CHEN Guojun, LIANG Jianshe, et al. Evolutionary history of the Paleogene deposits in Oujiang sag, East China Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(8): 1-7.
- [14] 陈国俊, 李超, 梁建设, 等. 东海陆架盆地瓯江凹陷明月峰组沉积相及沉积特征分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 760-769.  
CHEN Guojun, LI Chao, LIANG Jianshe, et al. Sedimentary facies of Mingyuefeng formation in Oujiang Sag, East China Sea basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 760-769.
- [15] 王志峰, 包建平. 柴北缘冷湖构造带与马北油田原油地球化学特征对比[J]. 地球科学与环境学报, 2017, 39(5): 683-694.  
WANG Zhifeng, BAO Jianping. Comparisons of geochemical characteristics of crude oils from Lenghu structure zone and Mabei oilfield in the northern Qaidam basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2017, 39(5): 683-694.
- [16] 杨传胜, 杨长清, 杨艳秋, 等. 东海洋陆过渡带中—新生代构造变形及动力学机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(1): 71-84.  
YANG Chuansheng, YANG Changqing, YANG Yanqiu, et al. Meso-

- Cenozoic deformation and dynamic mechanism of the ocean-continent transitional zone in the East China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2020, 40(1): 71-84.
- [17] 郝乐伟,王琪,梁建设,等. 东海陆架盆地瓯江凹陷油气成藏机制探讨[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(6): 848-859.  
HAO Lewei, WANG Qi, LIANG Jianshe, et al. Mechanism of hydrocarbon accumulation in Oujiang Sag, the East China Sea shelf basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(6): 848-859.
- [18] 赵艳秋. 东海陆架盆地长江凹陷生油岩研究[J]. *海洋石油*, 2003, 23(增刊1): 40-44.  
ZHAO Yanqiu. The study on source rock of Changjiang sag of the East China Sea shelf basin[J]. *Offshore Oil*, 2003, 23(Suppl. 1): 40-44.
- [19] 梅博文,刘希江. 我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J]. *石油与天然气地质*, 1980, 1(2): 99-115.  
MEI Bowen, LIU Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in China's crude oil and its relation with the geologic environment[J]. *Oil & Gas Geology*, 1980, 1(2): 99-115.
- [20] 陈建平,赵长毅,何忠华. 煤系有机质生烃潜力评价标准探讨[J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(1): 1-5.  
CHEN Jianping, ZHAO Changyi, HE Zhonghua. Criteria for evaluating the hydrocarbon generating potential of organic matter in coal measures[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997, 24(1): 1-5.
- [21] LEI C, YIN S Y, YE J R, et al. Geochemical characteristics and hydrocarbon generation modeling of the Paleocene source rocks in the Jiaojiang Sag, East China Sea basin[J]. *Journal of Earth Science*, 2024, 35(2): 642-654.
- [22] 袁灵聪,朱晓军,蔡进功,等. 东海盆地长江坳陷美人峰组烃源岩沉积环境与生烃潜力评价[J]. *沉积学报*, 2021, 39(2): 506-514.  
YUAN Lingcong, ZHU Xiaojun, CAI Jingong, et al. Sedimentary environment and hydrocarbon generation potential of source rocks from the Meirenfeng formation in the Changjiang depression, East China Sea basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2021, 39(2): 506-514.
- [23] 孙玉梅,席小应. 东海盆地丽水凹陷油气源对比与成藏史[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(6): 24-28.  
SUN Yumei, XI Xiaoying. Petroleum reservoir filling history and oil-source correlation in the Lishui Sag, East China Sea Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(6): 24-28.
- [24] 李智,李双建,王濡岳,等. 川西地区雷口坡组气藏气源分析与成藏模式[J]. *断块油气田*, 2024, 31(2): 299-307.  
LI Zhi, LI Shuangjian, WANG Ruyue, et al. Gas source analysis and accumulation model of Leikoupo Formation gas reservoir in western Sichuan Basin[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2024, 31(2): 299-307.
- [25] 郭刚,廖计华,徐建永,等. 椒江凹陷下古新统月桂峰组半深湖—深湖相烃源岩综合识别与分布预测[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2024, 44(2): 199-209.  
GUO Gang, LIAO Jihua, XU Jianyong, et al. Comprehensive recognition and distribution prediction of semi-deep and deep lacustrine source rock of the Lower Paleocene Yueguifeng Formation in Jiaojiang Sag[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2024, 44(2): 199-209.

(编辑 李青)