

# 东海陆架盆地西湖凹陷西部斜坡带平湖组沉积环境特征研究

唐健程<sup>1</sup>, 刘禹<sup>1</sup>, 师肖飞<sup>2</sup>, 姜雪<sup>1</sup>, 孙鹏<sup>1</sup>, 刘春锋<sup>1</sup>, 熊志武<sup>1</sup>, 徐志星<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海

<sup>2</sup>中海油能源发展股份有限公司工程技术公司中海油实验中心(上海), 上海

收稿日期: 2023年1月10日; 录用日期: 2023年2月6日; 发布日期: 2023年2月14日

## 摘要

东海陆架盆地西湖凹陷西部斜坡带始新统平湖组不仅发育良好的烃源岩具备良好的生烃能力, 同时也为优质的储层, 一直是东海地区油气勘探研究的主要层段, 但当前该层系的勘探突破相较于渐新统花港组而言稍显滞后, 其中西部斜坡带平湖组沉积环境特征认识不深是制约勘探突破的重要因素之一。本文以西部斜坡带4口重点井为研究对象, 精细描述了渐新统平湖组, 分析了上百块岩心、岩屑样品, 并优选了其中的41块开展地球化学测试分析。明确了: 1) 研究区内X4井始新统平湖组的沉积期整体处于温暖、潮湿气候背景, 除部分沉积期遭遇海侵外整体为淡水环境, 绝对古水深介于0~7 m之间, 具有氧化特征; 2) 研究区主要发育受潮汐影响的河控三角洲相, 进一步划分为三角洲平原、三角洲前缘两种亚相和泛滥平原、分流河道、河口坝、水下分流间湾、水下分流河道等微相; 3) 总结出研究区平湖组发育的两种沉积模式, 在低水位时期主要为河控三角洲沉积, 水体整体为淡水环境, 在发生海侵时期, 水体盐度增加, 潮汐对研究区的沉积物分配产生一定影响, 在三角洲前缘发育沿潮流方向的潮汐沙坝。厘清平湖组沉积相与沉积环境特征, 可以为西湖凹陷西部斜坡带平湖组下一步勘探部署提供参考依据。

## 关键词

西湖凹陷, 平湖组, 沉积环境, 微量元素, 河控三角洲

## Study on Sedimentary Environment Characteristics of Pinghu Formation in Western Slope Zone of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin

Jiancheng Tang<sup>1</sup>, Yu Liu<sup>1</sup>, Xiaofei Shi<sup>2</sup>, Xue Jiang<sup>1</sup>, Peng Sun<sup>1</sup>, Chunfeng Liu<sup>1</sup>, Zhiwu Xiong<sup>1</sup>, Zhixing Xu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Branch Company, China National Offshore Oil Company (CNOOC) Ltd., Shanghai

文章引用: 唐健程, 刘禹, 师肖飞, 姜雪, 孙鹏, 刘春锋, 熊志武, 徐志星. 东海陆架盆地西湖凹陷西部斜坡带平湖组沉积环境特征研究[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(2): 85-97. DOI: 10.12677/ag.2023.132008

## Abstract

The Eocene Pinghu Formation is not only a well-developed source rock with good hydrocarbon generation capacity, but also a high-quality reservoir in the western slope zone of Xihu Sag in the East China Sea shelf Basin. It has always been the main oil and gas exploration intervals in the East China Sea. However, the current exploration breakthrough of the Pinghu Formation is slightly behind that of the Oligocene Huagang Formation. The lack of understanding of the sedimentary environment characteristics of Pinghu Formation in the western slope is one of the important factors restricting exploration breakthrough. In this paper, four key Wells in the western slope zone are taken as the research objects, and the Oligocene Pinghu Formation is described in detail. Hundreds of core and cuttings samples are analyzed, and 41 of them are selected for geochemical testing and analysis. It is clear that: (1) The sedimentary period of the Eocene Pinghu Formation of Well X4 in the study area was in a warm and humid climate background, and the sedimentary period was in a freshwater environment except that some sedimentary periods encountered transgression. The absolute paleo-water depth was between 0 and 7m, with the characteristics of oxidation. (2) The tidal river controlled delta facies are mainly developed in the study area, which can be further divided into delta plain and delta front subfacies, flood plain, distributary channel, estuary bar, underwater distributary bay, underwater distributary channel and other microfacies. 3) Two sedimentary models of Pinghu Formation in the study area are summarized. In the period of low water level, the sediment is mainly in the river controlled delta, and the water body is a freshwater environment as a whole. In the period of transgression, the salinity of the water body increases, and the tides have a certain influence on the sediment distribution in the study area. Clarifying the sedimentary facies and sedimentary environment characteristics of Pinghu Formation can provide reference for the further exploration and deployment of Pinghu Formation in the western slope belt of Xihu Depression.

## Keywords

Xihu Depression, Pinghu Formation, Sedimentary Environment, Trace Elements, River Controlled Delta

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

东海陆架盆地西湖凹陷的勘探始于上世纪八十年代，从勘探刚起步就一直是我国海上油气勘探的重点区域。近年来在西湖凹陷取得了较大的勘探发现，首先是在中央反转构造带发现了两个千亿方大气田，掀起了西湖凹陷中央反转带中北部勘探热潮，其次是在西部斜坡带同样是取得了重大发现，在“纵向叠置，横向连片”的勘探思路引导下，发现了西部斜坡带千亿方气田群[1][2]。西斜坡相较于中央反转带的主力储层具有差异，中央反转带的主力储层为花港组，而西斜坡的主力储层为平湖组，平湖组由于其自生自储的特征，使得其相较于花港组储层需要通过通源断裂才能成藏具有一定的优势。特别是在西湖凹陷西部斜坡带，由于花港组物性特征较差，使得平湖组不仅作为主力烃源岩，还是该区的主力储层。

针对平湖组的沉积环境与沉积特征前人已经做了大量的地质研究,其中蒋一鸣等[2]通过古盐度、孢粉化石、姥鲛烷和植烷、甾烷、 $\beta$ -胡萝卜烷和类胡萝卜素等参数分析认为平湖组沉积时期以湖泊相沉积为主,但水体具有一定的咸度;陈琳琳[3]和蒋海军等[4]通过微体古生物研究认为平湖组是一个逐渐海退的过程,中下段为浅海沉积,上段开始逐渐过渡为陆相沉积;杨彩虹等[5]认为是西部斜坡带主要发育一套辫状河三角洲沉积;吴嘉鹏等[6]通过岩心观察发现平湖期西湖凹陷透镜状层理、波状层理等潮汐层理砂岩相发育等其他现象,综合认为平湖组主要发育受潮汐作用影响的三角洲相、潮坪相及局限浅海相等沉积相类型;同时也有部分专家学者认为平湖组是一套潮坪、潮控三角洲和半封闭的海湾沉积[1] [7] [8] [9] [10]。但前人的研究多局限于使用单一地球化学方法或单从岩石学特征角度出发,存在一定的局限性;且大多数学者并未从西湖凹陷西部斜坡带的沉积相类型和分布进行深入的解剖,使得沉积砂体分布的平面几何形态、侧向连续性以及垂向叠置特征不清楚,对勘探的指导意义较小。

因此,本文在前人研究的基础上基于岩芯、测井、地震和地球化学等资料,使用多种方法相结合对研究区沉积特征进行综合分析,寻找沉积环境标志,确定沉积相类型,分析沉积相分布的主控因素,最终建立研究区沉积发育模式。

## 2. 区域地质概况

东海陆架盆地位于我国浙江省以东,整体地处华南陆块向海的延伸地带,西邻浙闽隆起,东接钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽,同时位于欧亚板块、菲律宾板块和太平洋板块相互作用的区域,盆地主要受始新世—渐新世菲律宾板块向欧亚板块斜向俯冲影响,盆地形态呈菱形,整体扩张,是钓鱼岛残余弧后的走滑拉分陆缘裂谷盆地[11]。中、新生代以来,东海陆架盆地便处于现代全球板块构造演化格局中,其构造发育、盆地演化过程与历史十分复杂,表现出多期次、多类型的构造体系演化特征[12]。自西向东的西部拗陷带、中央隆起带和东部拗陷带共同构成了盆地的二级构造单元,三级构造单元则分别为虎皮礁、海礁、渔山三个隆起和浙东、长江、台北、彭佳屿四个拗陷[12] [13] (图 1)。

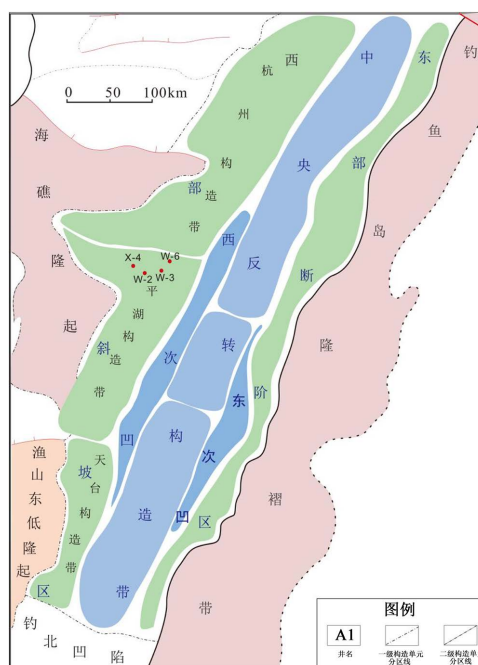


Figure 1. Regional geological division of Xihu Sag  
图 1. 西湖凹陷区域地质概况

西湖凹陷构造演化史可划分为三大阶段：早期多幕裂陷断陷、中期拗陷和多幕挤压反转、晚期沉降，因此凹陷的构造—地层格架具有深、中、浅层叠加的“三层式”结构特点。由于经历了多期构造运动，如白垩纪末基隆运动、始新世末玉泉运动和中新世末龙井运动，从而在西湖凹陷广泛发育了多套区域不整合[14]。由于晚始新世时太平洋板块向亚欧板块俯冲的角度发生转变，区域构造应力场也随之改变，从而造成东海盆地西部地区整体抬升并被剥蚀。此时，西湖凹陷发生伸展裂陷，沉积中心向东迁移，平湖组开始沉积。始新世末受玉泉运动影响，裂陷作用逐渐减弱并进入拗陷沉降阶段，西湖凹陷呈现为北高南低，开始广泛接受海侵沉积，表现为半封闭海湾沉积环境。总体上，西湖凹陷平湖组沉积期为断陷晚期，花港组沉积期为拗陷早期[15]。

根据钻井揭示，西湖凹陷内地层由老到新为古新统、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)和第四系(东海群) (图 2)。整体上，西湖凹陷自西向东沉积粒度逐渐变细，地层厚度逐渐增大。主要目的层段始新统平湖组沉积时处于盆地演化的拗陷阶段，与下伏宝石组之间呈不整合接触关系。平湖组沉积厚度大，分为上、中、下三段，各段具有明显由上变细的旋回特点，岩性以灰色、深灰色泥岩为主，夹多套薄煤层和碳质泥岩[16]。

西湖凹陷地层综合柱状图

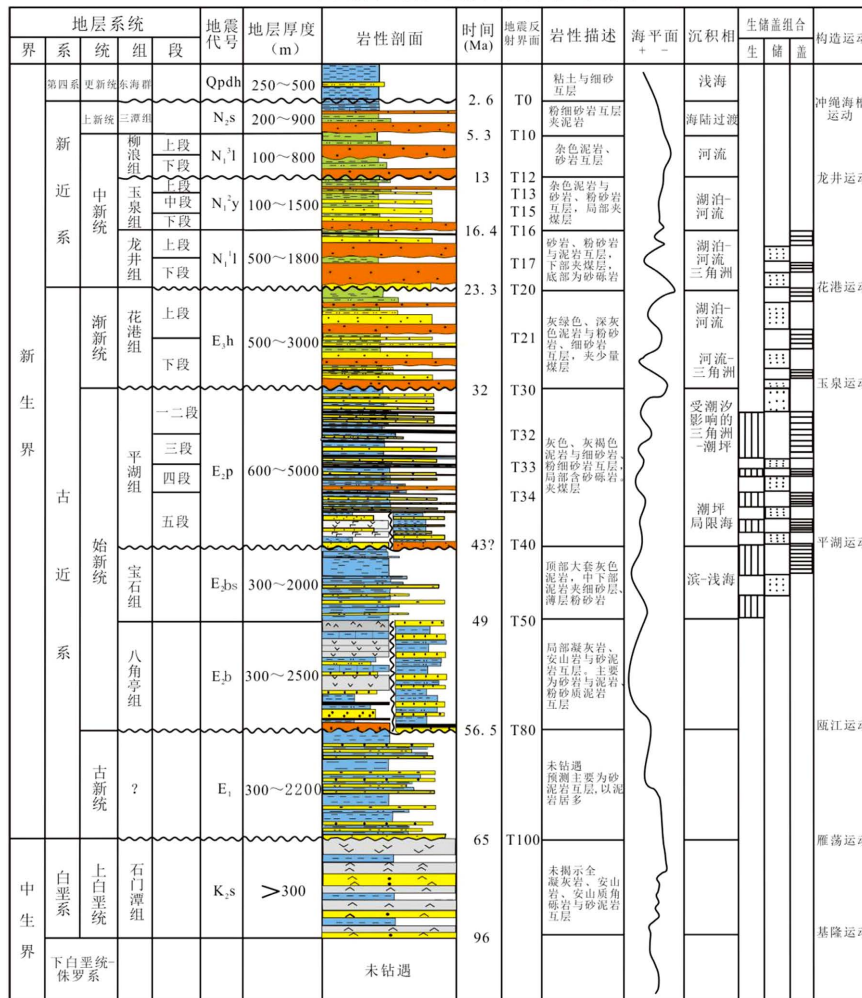


Figure 2. Columnar chart of development strata in Xihu Sag

图 2. 西湖凹陷发育地层柱状图



### 3. 研究数据和方法

由于海上少井勘探的特殊性,且研究区勘探水深较深,钻遇始新统平湖组并取芯的井段也相对较少。因此,重点选取研究区的4口重点井,分析了上百块岩心、岩屑样品,并优选了区域内重点井X4所获岩芯和岩屑中深度范围为3500~3900 m的41块样品系统地开展岩心观察、测井资料解释以及地球化学元素测试分析工作。

其中泥岩样品的主微量元素测试由核工业北京地质研究院完成,微量元素分析仪器为PANalytical Axios XRFX 射线荧光光谱仪,锶同位素值分析仪器为Triton Plus 热电离同位素质谱仪。

### 4. 地球化学元素沉积环境分析

在沉积环境发生变化的过程中,以各种沉积物为载体的微量元素也相应地随之发生迁移、转化、组合和分散等现象,因此在不同的沉积环境中,元素的分散和聚集规律也会有所不同。由此,利用微量元素的地球化学特征来识别和恢复古沉积环境就成为有力的依据,也是可指示沉积环境的标志[17]-[23]。本文在使用微量元素作为判识标志分析沉积环境时,研究方法主要涉及到微量元素含量法和元素比值法。

#### 4.1. 微量元素含量法

结合前人所总结的指示沉积环境的常用地化指标[24]和研究区实际地质情况,选择Sr含量、Li含量、Ni及Ga比值共4种微量元素作为判识咸(或海)与淡(或陆)水的指示元素。综合前人经验对指标临界值的界定有以下认识并在此进行规律总结:1) Sr质量分数100~500  $\mu\text{g/g}$  指示为淡水,含量值处于500~800  $\mu\text{g/g}$  时为半咸水,大于800  $\mu\text{g/g}$  则判断为高含量,指示咸水环境;2) Li含量大于150  $\mu\text{g/g}$  为咸水,值处于90~150  $\mu\text{g/g}$  之间为半咸水,小于90  $\mu\text{g/g}$  为淡水;3) Ni含量大于40  $\mu\text{g/g}$  为咸水环境,含量小于25  $\mu\text{g/g}$  为淡水环境;4) Ga含量小于8  $\mu\text{g/g}$  为咸水环境,大于25  $\mu\text{g/g}$  为淡水环境[22] [23] [25]。

数据处理结果如图3所示,得出41块样品中Sr含量<250  $\mu\text{g/g}$ , Li含量绝大部分都小于90  $\mu\text{g/g}$ , Ni含量基本小于40, Ga含量为10~30  $\mu\text{g/g}$  之间,这些元素的含量都指示整体的水体环境为淡水条件。其中Li含量仅在3520米深度为89.4  $\mu\text{g/g}$ ,接近于半咸水的环境。

本文还利用Al、V、Ni和Ga等元素进行古水深研究[24],综合各元素所指示的水深变化,得出平湖组绝对古水深介于0~7 m之间,整体上前人所得出的平湖组古水深介于0~14 m之间,整体水深不超过15 m,垂向变化波动不大;平湖组沉积时期水深整体小于5 m [2]等结论比较吻合。

#### 4.2. 元素比值法

Sr/Ba比值古盐度判定的一个有效手段,通常随着水体盐度的增大,Sr/Ba比值会持续增大。根据前人的研究,当Sr/Ba比值大于1时,为咸水(海相)环境,当Sr/Ba比值小于0.6时,为淡水(陆相)环境,当介于0.6~1时为半咸水(海陆过渡相)环境[22] [23] [25]。本次研究采集和分析的样品中Sr/Ba比值为0.03~0.22  $\mu\text{g/g}$ ,比值整体较低,平均值为0.12  $\mu\text{g/g}$ ,最大值仅是0.22  $\mu\text{g/g}$ ,也远小于临界值,因此,依据Sr/Ba值为指标将其判断为淡水环境。利用Sr/Cu比值也可指示研究区的气候特征[24],当Sr/Cu>10时指示炎热干旱气候,介于5~10之间指示半潮湿-半干旱气候,Sr/Cu<5指示潮湿气候,研究区Sr/Cu比值介于1.8~13之间,平均值为4.7,整体为潮湿气候,在平湖组顶面附近出现干旱气候特征。针对氧化还原环境可以使用U/Th进行指示[23] [25],根据前人总结出的规律,U/Th<0.75时指示氧化环境,介于0.75~1.25之间时指示贫氧环境,U/Th>1.25时指示厌氧环境,研究区U/Th比值介于0.25~0.5之间,指示平湖组整体处于氧化沉积环境。

综合上述地球化学分析的结论,研究区内X4井始新统平湖组的沉积期整体处于温暖、潮湿气候背

景, 除部分沉积期遭遇海侵外整体为淡水环境, 绝对古水深介于 0~7 m 之间, 具有氧化特征, 与前人的研究成果相吻合。

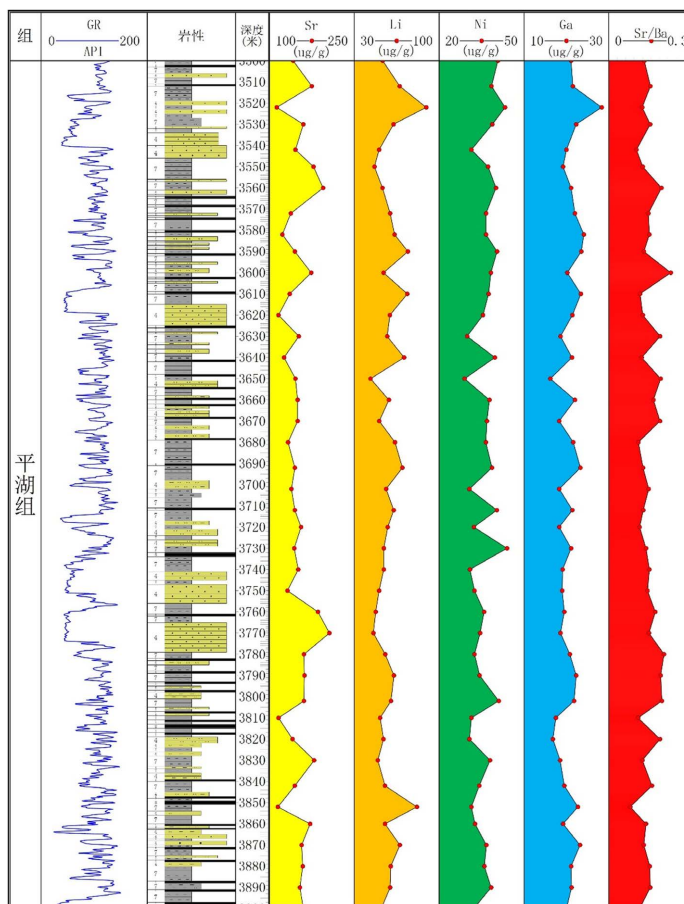


Figure 3. Vertical profile of the trace elements in well X4  
图 3. X4 井微量元素数据图

## 5. 沉积相划分及其特征分析

本文根据研究区已钻井前地震反射特征、钻井后测井特征和岩芯特征, 结合上述所分析的沉积环境特征, 综合归纳出研究区平湖组所处沉积相及各沉积微相(图 4)。认为研究区在平湖组沉积时期为一套受潮汐影响的河控三角洲沉积体系, 河流起主导作用, 潮汐对砂体起到一定的改造作用。三角洲体系中识别出三角洲平原和三角洲前缘两大亚相, 以及分流河道, 泛滥平原, 水下分流河道, 水下分流间湾, 河口坝和远砂坝微相(图 4)。

### 5.1. 潮汐影响的河控三角洲平原

在研究区, 三角洲平原亚相可以进一步划分出分流河道和泛滥平原两种主要微相类型。

#### 5.1.1. 三角洲平原分流河道

基于钻井岩芯观察, 三角洲平原分流河道多表现出多期相互冲刷和叠置的特征(图 5(A))。每一期河道对前一期河道有着强烈的切割作用, 底部可见冲刷面和河床底部滞留砾石沉积, 且槽状交错层理发育(图 5(B)), 顶部平行层理较为发育(图 5(B))。同时, 在粒度上每期河道有着向上逐渐变细的典型的正序特

征。砾石磨圆较好，反应了一定距离的搬运，成分多为变质岩。含砾砂岩段整体表现为棕色，反映了浅水的环境(图 5(C)~(E))。测井上表现为大套箱型特征(图 6(A))，地震上表现为孤立透镜状、低连续-中低振幅地震反射(图 4)。


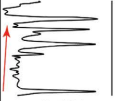
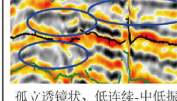

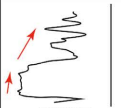
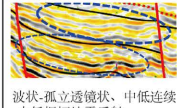

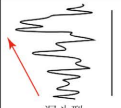
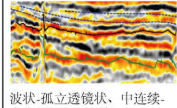

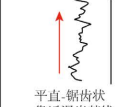
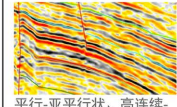
沉积相	沉积亚相	沉积微相	岩芯特征	测井特征	地震反射特征	岩性等其他特征
三角洲沉积体系	三角洲平原	分流河道	 河道底砾岩	 箱形特征	 孤立透镜状、低连续-中低振幅地震反射	砾岩、含砾砂岩和砂岩，部分泥砾呈棕色。底部见冲刷面和河流滞留砾石沉积，向上出现平行层理或交错层理，正粒序。
		水下分流河道	 冲刷面	 箱形特征	 波状-孤立透镜状、中低连续-中低振幅地震反射	岩性特征：中-细砂岩为主，河道底部见冲刷面和河流滞留砾石沉积，发育槽状交错层理和平行层理等，分选磨圆中-好，正粒序。
	三角洲前缘	河口坝	 砂纹层理，反粒序	 漏斗型	 波状-孤立透镜状、中连续-中高振幅地震反射	主要为较纯的中到薄层的中砂岩和细砂岩，发育波状交错层理、冲洗交错层理、浪成砂纹层理、反韵律，局部可见变形层理。
		水下分流间湾	 深灰色泥岩，含薄层粉砂岩	 平直-锯齿状靠近泥岩基线	 平行-亚平行状高振幅地震反射	主要为灰色的泥岩和粉砂质泥岩，夹透镜状砂岩，发育缓波状层理、生物扰动、炭屑发育，局部可见煤层。

Figure 4. Identification marks of main sedimentary facies types in the study area  
图 4. 研究区主要沉积相类型的识别标志

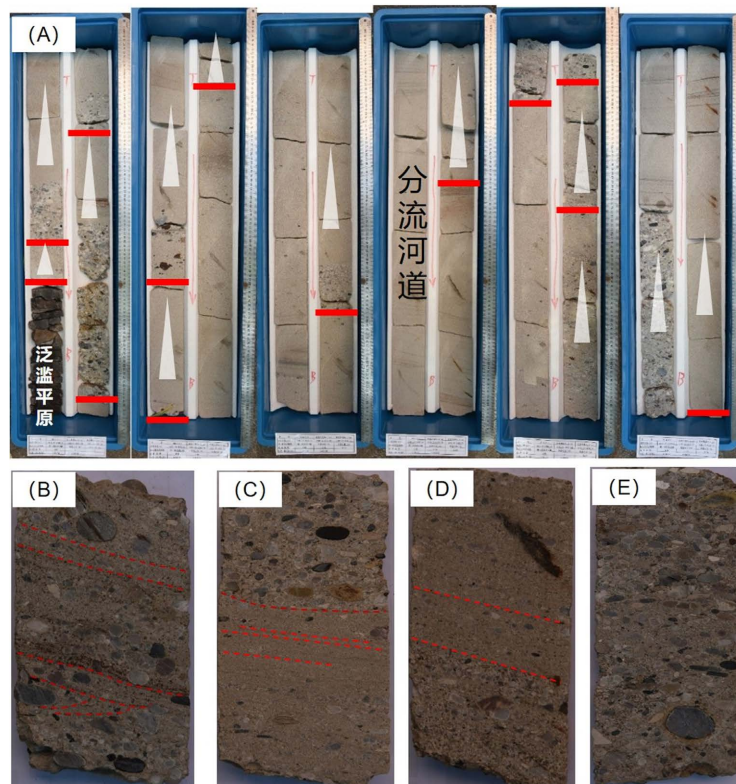
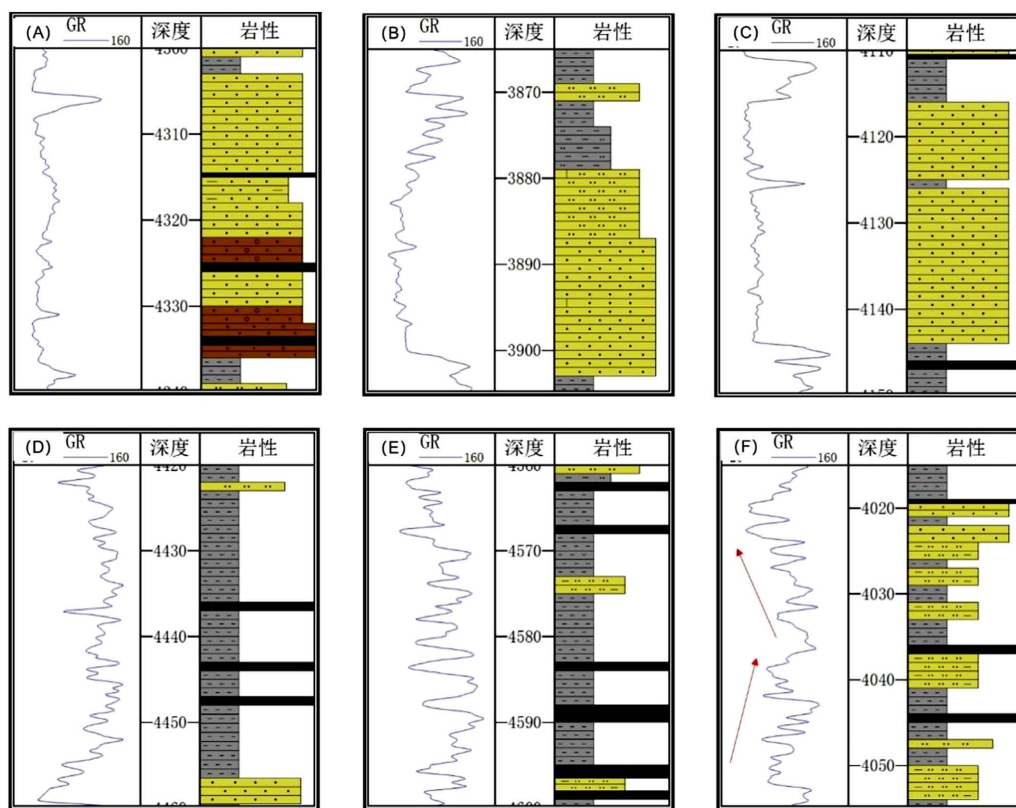


Figure 5. Sedimentary characteristics of delta plain distributary channel, W2 well  
图 5. 三角洲平原分流河道沉积特征，W2 井

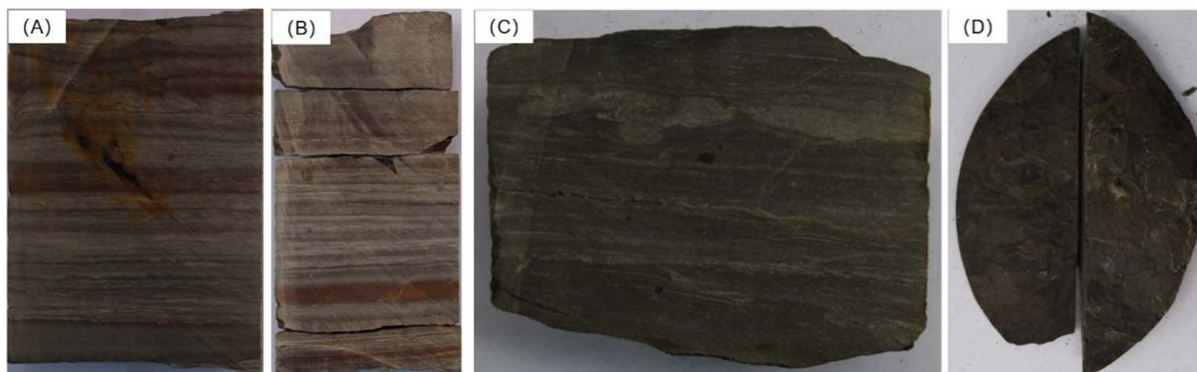




**Figure 6.** Logging identification marks of typical sedimentary facies in the study area, well W21  
**图 6.** 研究区典型沉积相测井识别标志, W2 井

### 5.1.2. 泛滥平原

泛滥平原沉积主要为泥质沉积, 含少量的薄层粉砂质和砂质沉积, 泥岩颜色整体为灰色但在部分位置可以观察到红色, 指示了局部氧化的环境(图 7(A), 图 7(B))。



**Figure 7.** Core characteristics of flood plain and subaqueous distributary bay  
**图 7.** 泛滥平原和水下分流间湾岩心特征

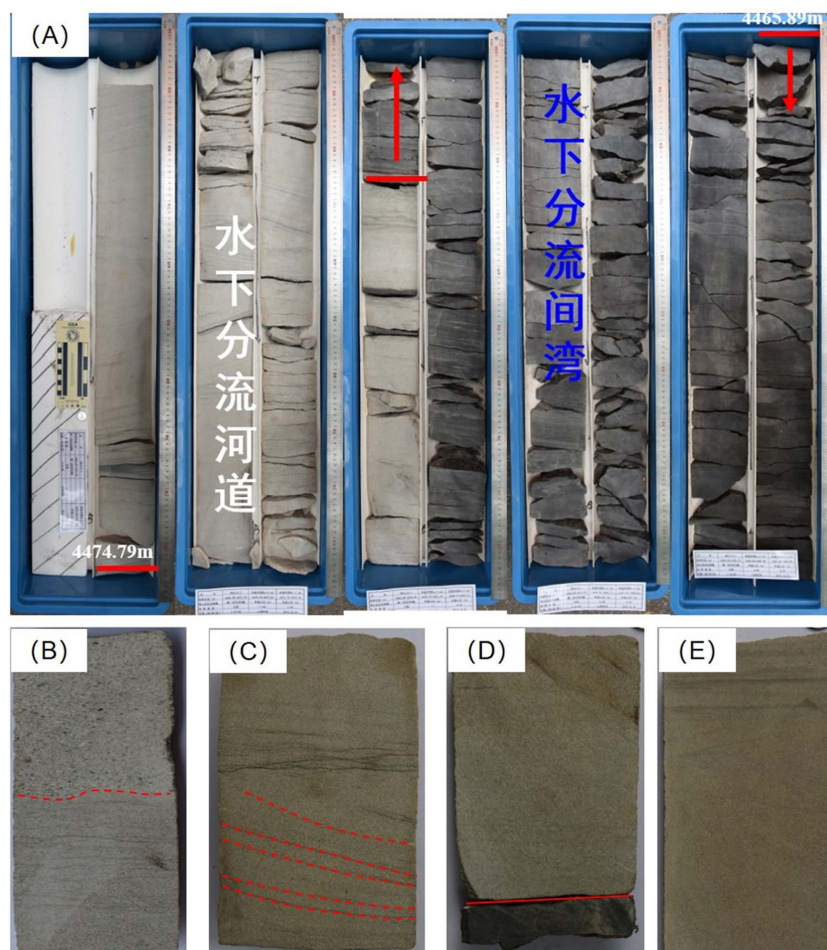
## 5.2. 潮汐影响的河控三角洲前缘

### 5.2.1. 水下分流河道

水下分流河道在岩性上以中-细砂岩为主, 主要沉积构造为冲刷面、槽状交错层理, 粒度表现为



向上变细的正粒序(图 8)。区别于三角洲平原分流河道, 水下分流河道表现为粒度更细以及颜色更偏还原的灰色。同时分流河道下切的泥岩也表现为深色且可以观察到生物扰动现象(图 8, 图 7(C), 图 7(D)), 因此整体环境可以判断为水下的河道沉积。水下分流河道在测井曲线形态上以箱型为主要特征, 但也能观察到钟形特征(图 6(B), 图 6(C))。地震上表现为波状 - 孤立透镜状, 中低连续 - 中低振幅的地震反射特征(图 4)。



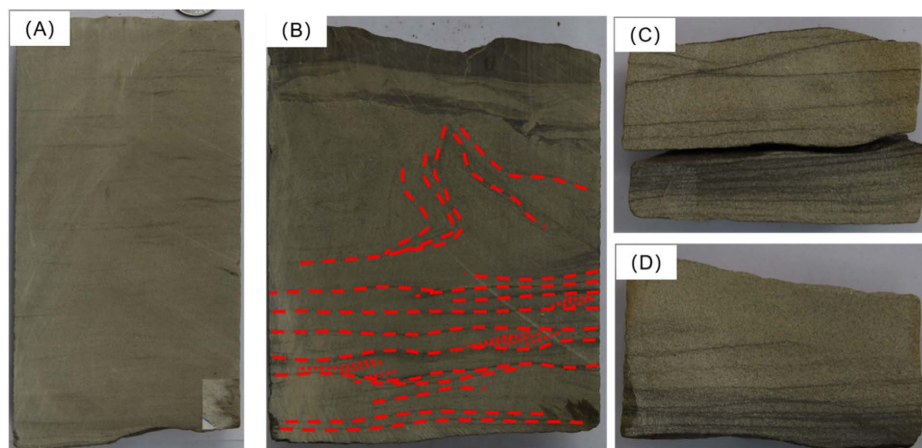
**Figure 8.** Sedimentary characteristics of subaqueous distributary channel and interdistributary bay in delta front, W6 well  
**图 8.** 三角洲前缘水下分流河道和水下分流间湾沉积特征, W6 井

### 5.2.2. 河口坝

河口坝是三角洲前缘发育的另一类主要砂体, 岩性上主要为较纯的中薄层中砂岩和细砂岩, 发育波状交错层理、冲洗交错层理、浪成沙纹层理、反韵律, 局部可见变形层理(图 9)。在测井曲线形态上表现为漏斗形, 指示水动力逐渐增强或物源供应越来越丰富的沉积环境(图 6(F))。地震反射特征上表现为波状 - 孤立透镜状、中低连续 - 中低振幅的反射特征(图 4)。

### 5.2.3. 水下分流间湾

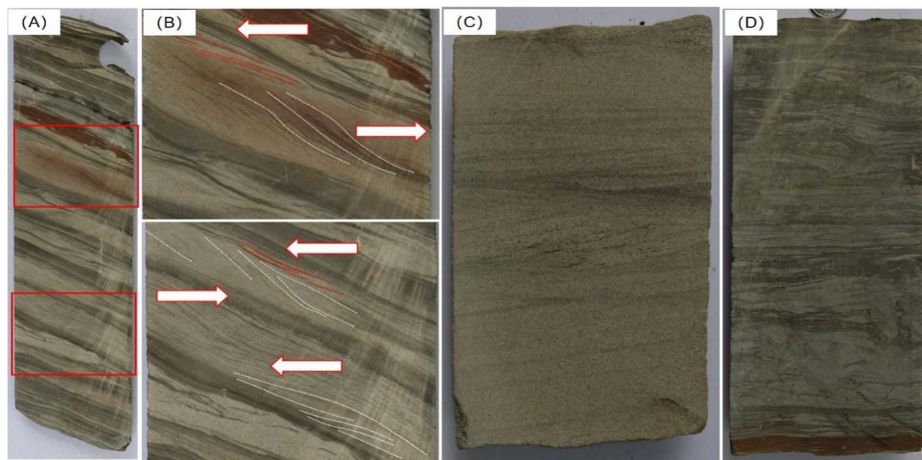
水下分流间湾岩性上主要为灰色的泥岩和粉砂质泥岩, 夹透镜状砂岩, 发育缓波状层理、生物扰动、炭屑发育, 局部可见煤层(图 7(C)和图 7(D))。测井解释上与泛滥平原相似, 表现为大段的泥岩基线(图 6(D), 图 6(E))。



**Figure 9.** The main sedimentary structures of mouth bar  
**图 9.** 河口坝主要沉积构造

### 5.3. 潮汐影响的河控三角洲前缘

潮汐作用对研究区南部三角洲前缘砂体有一定的改造作用。当沉积物供给弱时，受到潮汐涨落的影响，容易发育脉状层理和透镜状层理，同时可见生物扰动，部分岩心可见双向水流，为受潮汐影响的砂坝沉积(图 10)。在我国东海现代沉积以及古珠江都发现了大量潮汐作用产生的陆架砂的沉积[26]，可以成为良好的油气储集体和下一步油气勘探的目标。



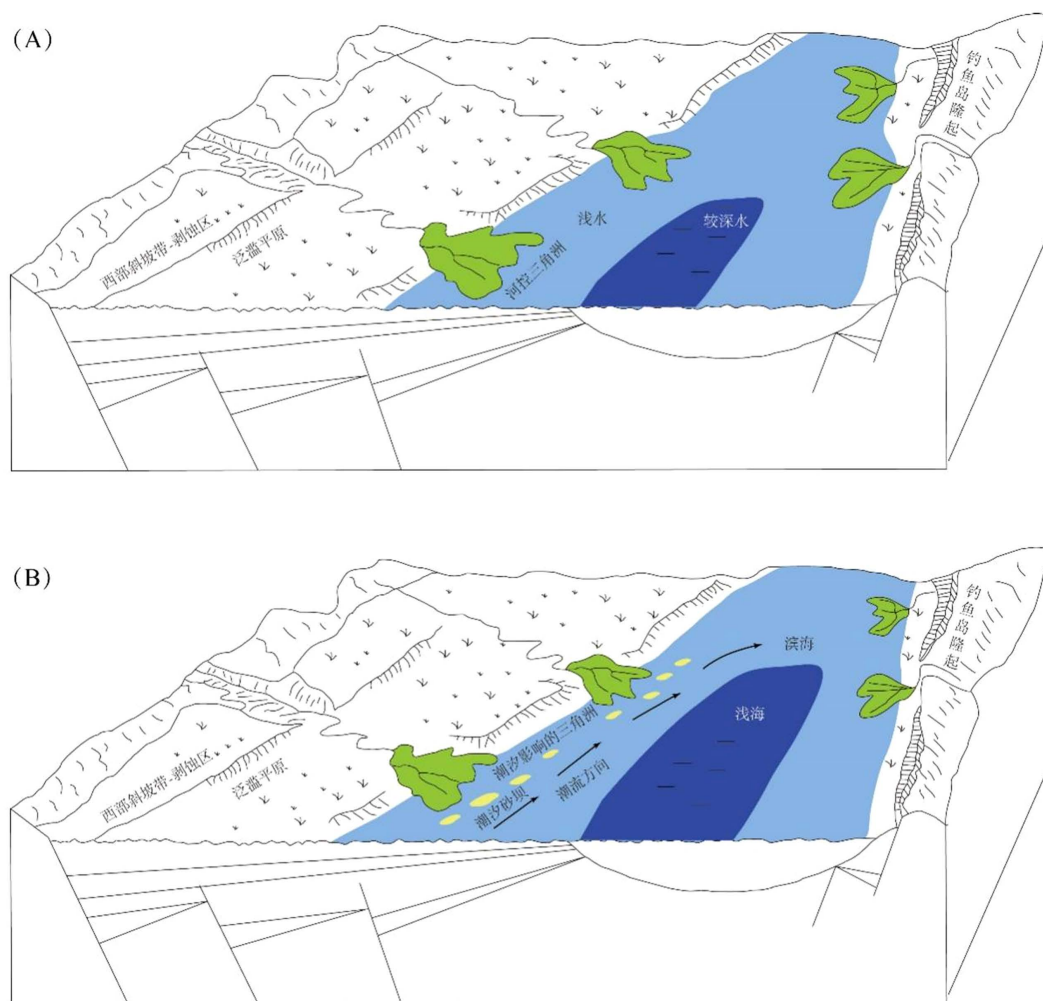
**Figure 10.** Main depositional phenomena of tidal influence  
**图 10.** 潮汐影响的主要沉积现象

蒋海军等[4]对比分析西湖凹陷多个钻井中的古生物材料发现研究区南部的 B-1 井，P-1 井，C-1 井，T-1 井都存在不同程度的海相化石，例如海相沟鞭藻和钙质超微化石，而在西湖凹陷盆地北部即研究区附近的 N2-1 井则主要含有疑源类、球藻及少量盘星藻，反映主体为陆相沉积环境，没有或很少受到海侵的影响。吴嘉鹏等[6]对西湖凹陷南部的钻井岩心解剖发现在西湖凹陷平湖组沉积中发现了大量与潮汐作用相关的沉积，例如研究区南部存在潮汐砂脊，同样也指示研究南部受到潮汐的影响，砂脊的发育情况可以反映不同时期西湖凹陷与南部广海的沟通情况，因此对于研究西湖凹陷古地理具有重要的指示意义。综合已有的钻井的古生物资料分析和前人研究，西湖凹陷盆地往南海相化石增多，北部则以陆相化石为主，反应北部陆相环境为主，南部与海沟通遭受不同程度的海侵。

## 6. 沉积模式

综合前人和本次研究认为, 东海西湖凹陷西部斜坡带在始新世时期处于大陆边缘海陆过渡相, 为局限海背景发育下的潮汐影响的河控三角洲沉积体系[27]。区域上认为研究区内部与海沟通, 越往南部受到潮汐作用的影响越强, 越往北部受到陆上河流的作用越强。研究区位于西部斜坡靠北位置, 从区域的地质背景而言, 相对受到潮汐影响较弱。

结合区域地质背景, 前人对于研究区和邻区的一些认识和证据, 依据本次研究中的地球化学元素分析, 重点井上的岩芯观察, 取芯段测井相和地震资料分析, 总结出研究存在两种沉积模式: 1) 在平湖组在大部分的沉积时期中, 水体整体为淡水环境, 受到河流径流量的注入影响较大, 沉积相主要为河控三角洲, 发育河口坝, 水下分流河道等沉积相(图 11(A)); 2) 在部分海侵时期, 海水入侵, 水体盐度有所增加, 在部分岩芯上可以观察到潮汐沉积的相标志, 此时河流仍占据主导地位, 但在三角洲前缘至远端位置, 遭受潮汐水流改造, 形成顺潮汐运动方向的潮汐砂坝(图 11(B))。两种模式下所发育的储层并无明显的好坏之分, 但潮汐作用改造后所形成的陆架砂具有形成优质储层的潜力。厘清这两种沉积模式有利于在后续勘探的过程中可以更清晰的分辨不同沉积模式的发育特征, 便于后续在研究区进行目标优选。



**Figure 11.** Sedimentary model maps of Pinghu Formation (A) and (B) on the western slope of Xihu Sag (modified from Shen Wenchao [28])

**图 11.** 西湖凹陷西斜坡平湖组(A)和(B)沉积模式图(修改自沈文超[28])



## 7. 结论

本次研究依据对 X4 井 41 块岩芯、岩屑样品进行地球化学分析, 4 口重点取芯井的岩芯观察, 多口勘探井的录井测井资料以及地震反射特征研究, 得出以下结论:

1) 研究区内 X4 井始新统平湖组的沉积期整体处于温暖、潮湿气候背景, 除部分沉积期遭遇海侵外整体为淡水环境, 绝对古水深介于 0~7 m 之间, 具有氧化特征。

2) 研究区主要发育受潮汐影响的河控三角洲相, 进一步划分为三角洲平原、三角洲前缘两种亚相和泛滥平原、分流河道、河口坝、水下分流间湾、水下分流河道等微相。

3) 研究区平湖组发育的两种沉积模式, 在低水位时期主要为河控三角洲沉积, 水体整体为淡水环境, 在发生海侵时期, 水体盐度增加, 潮汐对研究区的沉积物分配产生一定影响, 在三角洲前缘发育沿潮流方向的潮汐沙坝。

## 基金项目

中海油有限公司十四五重大科技项目“弧后盆地深层/超深层油气成藏条件与成藏机制研究——西湖凹陷”(KJGG2022-0402)。

## 参考文献

- [1] 赵丽娜, 陈建文, 张银国, 等. 东海西湖凹陷平湖构造带平湖组沉积特征[J]. 世界地质, 2008, 27(1): 42-47.
- [2] 蒋一鸣, 周倩羽, 李帅, 等. 西湖凹陷西部斜坡带平湖组含煤岩系沉积环境再思考[J]. 中国煤炭地质, 2016, 28(8): 18-25.
- [3] 陈琳琳. 东海西湖凹陷平湖组沉积环境演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998(4): 70-79.
- [4] 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.
- [5] 杨彩虹, 孙鹏, 田超, 张书平, 蒋一鸣. 东海盆地西湖凹陷平湖组异常高压分布及形成机制探讨[J]. 海洋石油, 2013, 33(3): 8-12.
- [6] 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.
- [7] 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(2): 19-25+32.
- [8] 王果寿, 周卓明, 肖朝辉, 李美洲, 周维奎, 王琳. 西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 257-261+265.
- [9] 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.
- [10] 魏恒飞, 陈践发, 陈晓东, 等. 西湖凹陷平湖组滨海型煤系烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 中国地质, 2013, 40(02): 487-497.
- [11] 刘金水, 许怀智, 蒋一鸣, 等. 东海盆地中、新生代盆架结构与构造演化[J]. 地质学报, 2020, 94(3): 675-691.
- [12] 杨传胜, 杨长清, 李刚, 等. 东海陆架盆地中—新生界油气勘探研究进展与前景分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(2): 136-147.
- [13] 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.
- [14] 李纯洁, 李上卿, 许红. 西湖凹陷中-下始新统宝石组油气地质与勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(4): 81-87.
- [15] 林志强, 周平. 东海西湖凹陷新生界沉积相的演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994(2): 63-70.
- [16] 田杨, 叶加仁, 雷闯, 等. 断陷盆地海陆过渡相烃源岩发育模式: 以西湖凹陷平湖组为例[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 898-908.
- [17] 王开怡. 以微量元素组合区分沉积环境初探[J]. 大地构造与成矿学, 1984(3): 296-304.
- [18] 彭海艳, 陈洪德, 向芳, 等. 微量元素分析在沉积环境识别中的应用——以鄂尔多斯盆地东部二叠系山西组为



- 例[J]. 新疆地质, 2006, 24(2): 202-205.
- [19] 刘刚, 周东升. 微量元素分析在判别沉积环境中的应用——以江汉盆地潜江组为例[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 307-310+314.
- [20] 范玉海, 屈红军, 王辉, 等. 微量元素分析在判别沉积介质环境中的应用——以鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世为例[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 382-389.
- [21] 孟潇, 李春霞, 归榕. 延安地区上古生界山 2 段—盒 8 段微量元素揭示的古沉积环境意义[J]. 非常规油气, 2014, 1(2): 26-30.
- [22] 王峰, 刘玄春, 邓秀芹, 李元昊, 田景春, 李士祥, 尤靖茜. 鄂尔多斯盆地纸坊组微量元素地球化学特征及沉积环境指示意义[J]. 沉积学报, 2017, 35(6): 1265-1273.
- [23] 范萌萌, 卜军, 赵筱艳, 康博, 李文厚, 张卫国. 鄂尔多斯盆地东南部延长组微量元素地球化学特征及环境指示意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2019, 49(4): 633-642.
- [24] 郑剑锋, 刘禹, 朱永进, 梁峰. 塔里木盆地乌什地区上震旦统奇格布拉克组地球化学特征及其地质意义[J]. 古地理学报, 2021, 23(5): 983-998.
- [25] 王益友, 吴萍. 江浙海岸带沉积物的地球化学标志[J]. 同济大学学报, 1983(4): 82-90.
- [26] 夏东兴, 刘振夏. 末次冰期盛期长江入海流路探讨[J]. 海洋学报(中文版), 2001, 23(5): 87-94.
- [27] Galloway, W.E. and Hobday, D.K. (1996) Terrigenous Clastic Depositional Systems. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 81-113. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61018-9>
- [28] 沈文超. 西湖凹陷古近系煤的聚集模式及沉积有机相研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2018.