



## 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

张 兰, 何贤科, 段冬平, 常吟善, 汪文基, 刘英辉

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

ZHANG Lan, HE Xianke, DUAN Dongping, CHANG Yinshan, WANG Wenji, and LIU Yinghui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022092103>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 西湖凹陷平湖斜坡带A气田沉积体系定量表征及海平面变化周期性探讨

Quantitative characterization of the depositional system in Gas field A, Pinghu slope belt, Xihu Sag and its bearing on periodicity of sea level changes

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(3): 12

#### 中国近海断坳转换期煤系烃源岩特征——以西湖凹陷平湖组烃源岩为例

Coal-bearing source rocks formed in the transitional stage from faulting to depression nearshore China——A case from the Pinghu Formation in the Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(6): 102

#### 基于米氏旋回理论的高频层序识别与划分——以东海陆架盆地平湖斜坡带宝云亭地区平三段为例

Identification and division of high-frequency sequence based on Milakovitch cycle: A case of the 3rd Member of Pinghu Formation in Baoyunting Area, Pinghu Slope Zone, East China Sea Shelf Basin

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(3): 51

#### 西湖凹陷保斜坡带平北地区平湖组“多元控砂”机制分析

“Multifactor control of sandboies distribution” in the Pinghu Formation, Pingbei region of Baochu slop, the Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(6): 115

#### 西湖凹陷平北地区平湖组煤系烃源岩生烃潜力研究

A study on the hydrocarbon generation potential of the coal-bearing source rocks in the Pinghu Formation of Pingbei area, the Xihu depression

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(4): 139

#### 东海盆地西湖凹陷平湖组微量稀土元素对古生产环境的指示意义

Trace rare earth elements in the Pinghu Formation of Xihu Sag and its implications for paleo-production environment

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(3): 72



关注微信公众号，获得更多资讯信息

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.

# 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

张兰, 何贤科, 段冬平, 常吟善, 汪文基, 刘英辉

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

**摘要:** 西湖凹陷平湖斜坡带油气资源丰富, 主要目的层平湖组为一套海陆过渡的含煤地层, 埋深大, 沉积环境复杂, 储层展布认识不清。综合地震、岩芯、测井等资料, 深入分析斜坡带平湖组煤系地层发育特征, 建立了研究区高精度等时地层格架, 在平湖组三级层序内部细分出低位域、海侵域、高位域。在层序格架约束下, 创新性地将多数据体迭代分析、多属性综合分析、地震相识别与拼接等技术有效地应用于地震沉积学研究, 进行“地震相-沉积相”的有效转化, 重建区域沉积体系。研究表明: SQ3 低位域内发育早期建设性三角洲和晚期孤立分流河道沉积, 水道沿凹陷长轴方向展布; 海侵域时期, 研究区南部受潮汐影响强, 中小规模垂直岸线的潮道频繁发育, 向北河控作用增强, 发育受潮汐影响的三角洲水下分流河道; 高位域发育三角洲平原沉积, 以大规模的北西-南东向分流河道沉积为主。

**关键词:** 地震沉积学; 多属性; 地震相; 西湖凹陷; 平湖斜坡带

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022092103

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

ZHANG Lan, HE Xianke, DUAN Dongping, CHANG Yinshan, WANG Wenji, LIU Yinghui

Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

**Abstract:** The Pinghu Slope belt in the Xihu Sag is rich in oil and gas resources. Pinghu Formation, the main target layer, is a set of coal bearing strata bearing marine-continental transitional facies in large burial depth and complex sedimentary environment. However, the reservoir distribution in it remains unclear. Based on the data of seismic, core, and logging, we deeply analyzed the response characteristics of coal measures of the Pinghu Formation in the slope belt, established the isochronous stratigraphic framework of high-precision coal seams, and recognized lowstand systems tract, transgressive systems tract, and highstand systems tract in the third-order sequence. Under the constraints of sequence framework, technologies such as multi-data iterative analysis, multi-attribute comprehensive analysis, and seismic facies identification and splicing were applied innovatively to the research in seismic sedimentology, to transform from seismic facies to sedimentary facies effectively, and to reconstruct regional sedimentary system. Results show that the SQ3 lowstand system tract reflects constructive deltas in early stage and meandering rivers in later stage, during which channels developed along the long axis of Xihu Sag. The transgressive systems tract manifests small-medium-sized tidal channels perpendicular to shorelines. The highstand systems tract indicates deltaic plain deposits, of which large-scale NW-SE distributary channel deposits are dominated.

**Key words:** seismic sedimentology; multiple attribute; seismic facies; Xihu Sag; Pinghu Slope belt

西湖凹陷平湖斜坡带油气资源丰富, 主要含油气层系为始新统平湖组和渐新统花港组<sup>[1]</sup>。其中, 平湖组为一套海陆过渡的含煤地层, 地层埋深大, 砂、泥、煤岩性组合复杂<sup>[2-4]</sup>。在此背景下, 平湖组

沉积相研究往往局限于单个气田, 趋于碎片化, 对区域沉积形态的精细研究一直是本区的重点和难点。地震沉积学是研究沉积体形态、建立沉积演化模式的重要方法之一<sup>[5-6]</sup>。但鉴于本区岩性组合复

资助项目: 中国海洋石油有限公司科技项目“平湖斜坡带孔宝地区平湖组古地貌恢复及有利砂体表征”(sh-zlky-2021-2); 中海石油(中国)有限公司重大科技专项“西湖凹陷在生产油气田中后期综合调整关键技术研究与实践”(CNOOC-KJ135ZDXM39SH03)

作者简介: 张兰(1988—), 女, 硕士, 主要从事盆地地层序地层学、沉积学及储层预测研究, E-mail: zhanglan5@cnooc.com.cn

收稿日期: 2022-09-21; 改回日期: 2023-02-12. 周立君编辑

杂, 地震沉积学关键技术 90°相位转换和地层切片法在此受到诸多限制, 难以满足生产需求。

本文综合地震、岩芯、测井等资料, 在高精度层序地层格架之下, 基于地震沉积学原理, 重点从 3 个方面对地震沉积学技术进行优化, 重构区域沉积体系, 深入探讨了斜坡带平湖组的沉积演化特征, 对该区隐蔽油气藏的钻探具有重要的指导意义。

## 1 地质概况

西湖凹陷构造演化经历了断陷期(古新世—始新世)、拗陷期(渐新世—中新世)和区域沉降期(上新世—第四纪)三个演化阶段<sup>[7-8]</sup>。地层由下向上为古新统, 始新统宝石组、平湖组, 渐新统花港组, 中新统龙井组、玉泉组、柳浪组以及上新统三潭组和第四系东海群(图 1)<sup>[9-10]</sup>。

平湖斜坡带位于西湖凹陷平湖构造带中段, 目前平湖斜坡带已勘探开发的气田主要包括北部的 T 气田和南部的 P 气田(图 1)<sup>[11-12]</sup>。始新统平湖组为半封闭海湾环境, 主要发育潮坪、受潮汐影响的三角洲沉积。前人将平湖组分为上、中、下三段, 本次重点研究平湖组上段、中段, 岩性组合为一套海陆过渡沉积体系的碎屑岩系, 砂、泥、煤互层分

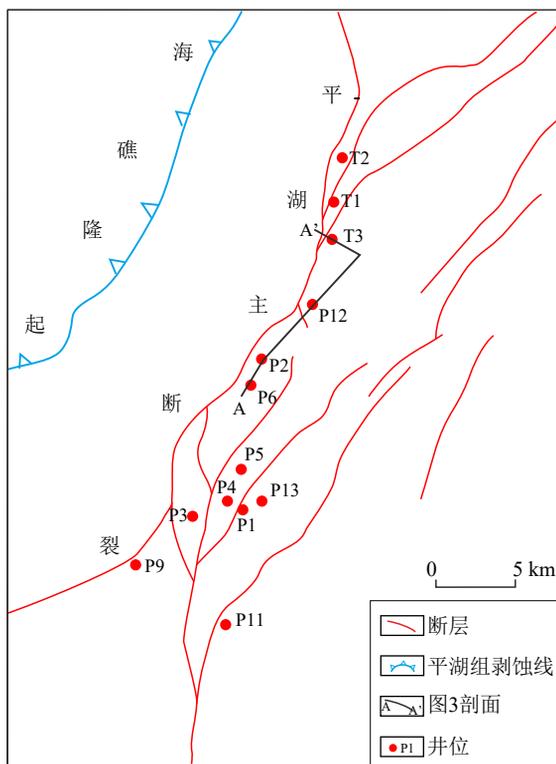
布<sup>[13-14]</sup>。

## 2 高精度层序地层格架

前人将西湖凹陷平湖组划分为 3 个三级层序 SQ3、SQ2、SQ1, 分别对应平湖组上、中、下三段(图 1)<sup>[15]</sup>。笔者深入分析斜坡带平湖组煤系地层的井震响应特征, 综合地震、岩芯、测井等资料建立平湖组上段、中段高精度等时地层格架。

### 2.1 层序界面识别

斜坡带平湖组煤层频繁发育, 含煤系数约 4%, 其中在大范围内连续稳定发育的主煤层具有低密度、高中子、高声波、高电阻特征, 常与碳质泥岩、暗色泥岩伴生, 煤层厚度相对大(2~5 m), 常表现为一套稳定的煤层、碳质泥岩及暗色泥岩组合, 简称为“泥煤组合”。由于煤层与砂岩的反射系数差异大, 泥煤组合在地震剖面上表现为强连续、强振幅、“两红夹一黑”的平行地震反射特征(图 2、3), 它形成于海平面持续上升、分布广泛的滨岸平原沼泽和废弃三角洲平原, 代表某个时间段内的最大海侵沉积产物, 易于全区追踪, 可作为研究区良好的标志层进行等时地层对比。



系	统	地层系统			地震反 射界面	年代 /Ma	三级 层序	沉积相	构造 运动	演化 阶段
		组	段	砂组						
第四系	更新统	东海群							冲神海槽 运动	区域 沉降
	上新统	三潭组			T <sub>1</sub> <sup>0</sup>	5.3				
新近系	中新统	柳浪组			T <sub>1</sub> <sup>2</sup>	11.2	河流- 湖泊- 辫状河 三角洲	龙井运动	拗 陷 期	
		玉泉组			T <sub>1</sub> <sup>6</sup>	16.4				
		龙井组			T <sub>2</sub> <sup>0</sup>	23.3				
	渐新统	花港组	上段		T <sub>2</sub> <sup>1</sup>					
			下段		T <sub>3</sub> <sup>0</sup>	32		玉泉运动		
古近系	始新统	平湖组	上段	1~7	T <sub>3</sub> <sup>2</sup>		潮坪- 三角洲- 受潮 汐影响 三角洲- 扇三 角洲	平湖运动	断 陷 期	
			中段	8~12	T <sub>3</sub> <sup>4</sup>					
			下段		T <sub>4</sub> <sup>0</sup>	43				
	宝石组			T <sub>5</sub> <sup>0</sup>	56.5	雁荡运动				
					Tg	65				
前新界										

图 1 西湖凹陷平湖斜坡带综合地质图

Fig.1 Comprehensive geological map of the Pinghu Slope, the Xihu Sag

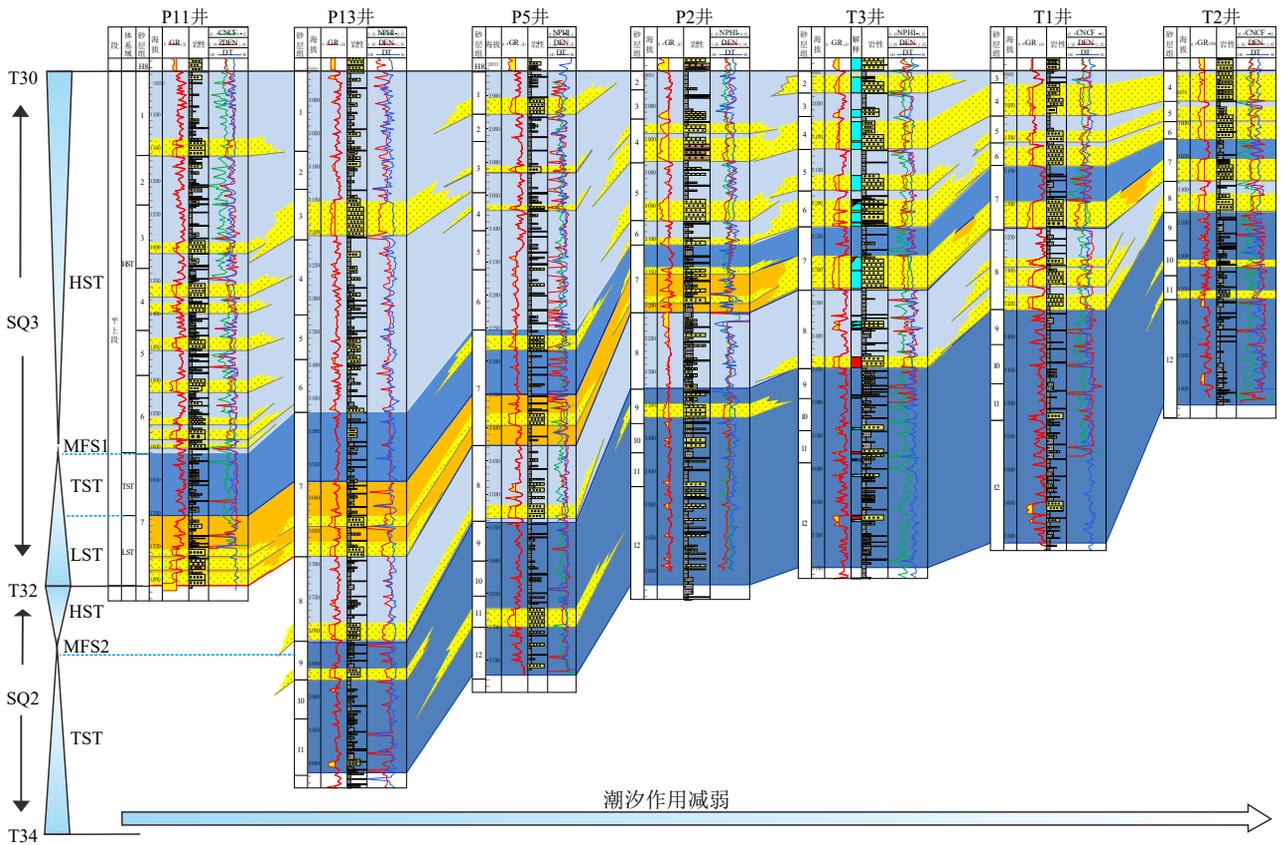


图2 研究区连井层序地层图

Fig.2 Sequence stratigraphic correlation of joint wells in the study area

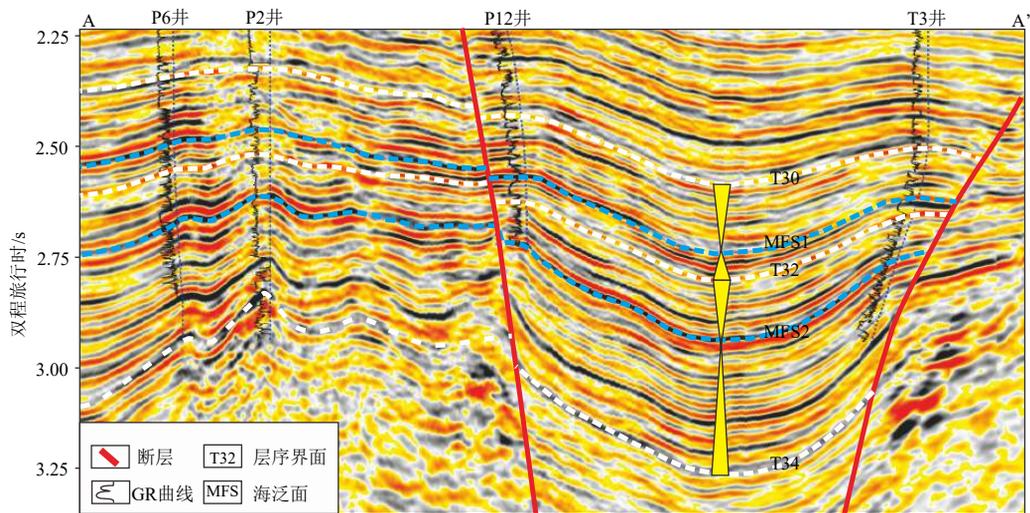


图3 研究区地震层序地层图

位置见图1中AA'。

Fig.3 Seismic sequence stratigraphic map of the study area

See Fig. 1 AA' for the position.

### 2.2 层序地层划分

本次在平湖组 SQ3 和 SQ2 内部识别出 MFS1/MFS2 两套区域稳定“煤泥组合”标志层作为最大海

泛面,由此将 SQ2 细分为海侵域(12—9 砂组)和高位域(8 砂组);SQ3 分为低位域(7 下砂组)、海侵域(7 上砂组)、高位域(6 及以上砂组)(图 2)。其中 MFS2 是 SQ2 内部的最大海泛面,为研究区稳定的

海泛泥岩沉积,“两红夹一黑”地震反射明显;界面上下岩性组合变化大,界面之下为巨厚的泥包砂特征,砂地比约 13%,以高频-强连续-中强振幅的平行反射为主;界面之上为 SQ2 高位域沉积,砂泥互层,砂地比约 26%,以中频-中连续-中弱振幅的亚平行反射为主。SQ3 沉积时期,物源供给增强,低位域多见块状砂岩,砂地比高达 40%,地震上为低频-弱连续-中弱振幅特征;随后海平面快速上升,区域覆盖一套稳定洪泛泥岩沉积;高位域地层增厚,研究区北部富砂,以低频弱振幅、中差连续性反射特征为主,向南泥煤增多,地震反射增强(图 3)。

### 3 地震沉积学优化技术

地震沉积学已成为沉积学研究的重要技术手段,但随着研究对象的复杂化,研究手段也不再局限于 90°相位转换和地层切片两项技术,特别是陆相盆地,等时地震标志层较少,岩性分布复杂,波阻抗呈多极分布,依靠 90°相移体校定岩性很困难<sup>[16]</sup>。为了提高地层切片的岩性解释水平,本文加强研究区岩石物理分析,引入 AVO 梯度体开展地震属性与岩性关系分析,并进一步探索振幅、相位、频率多属性融合分析技术。这些技术能深度挖掘地震信息的潜能,从而有效地改善地震属性的沉积相解释精度和准确性。并且,鉴于研究区南北气田间沉积背景的差异,采用将不同属性归一化处理再拼接的思路,将原本碎片化的沉积相逐步拼接在一起,实现本地区连片沉积精细解释。

#### 3.1 多数据体迭代分析

研究区平湖组受多种水动力影响,储层相变

快,油气层有效厚度平均不足 20 m<sup>[17]</sup>,埋深主要位于 3400~4500 m,对应地震资料主频为 30 Hz 左右,垂向分辨率较低(约 25 m)。中浅层(3400~3900 m)纵波阻抗与岩性有较好的线性关系(图 4),利用 90°相移体瞬时振幅属性即可较好地表征岩性(图 5b 效果好于图 5a)。深层(3900~4500 m)受压实作用影响,砂岩和泥岩的纵波阻抗差异较小,90°相移体校定岩性比较困难(图 4),但泥岩-砂岩界面的偏移距-振幅曲线通常表现为负梯度特征,因此,在深层地层中,AVO 梯度体最小振幅属性能较好地指示砂体(5c 效果好于图 5d)。基于上述岩石物理分析,笔者在常规 90°相移体的基础之上,结合 AVO 梯度体

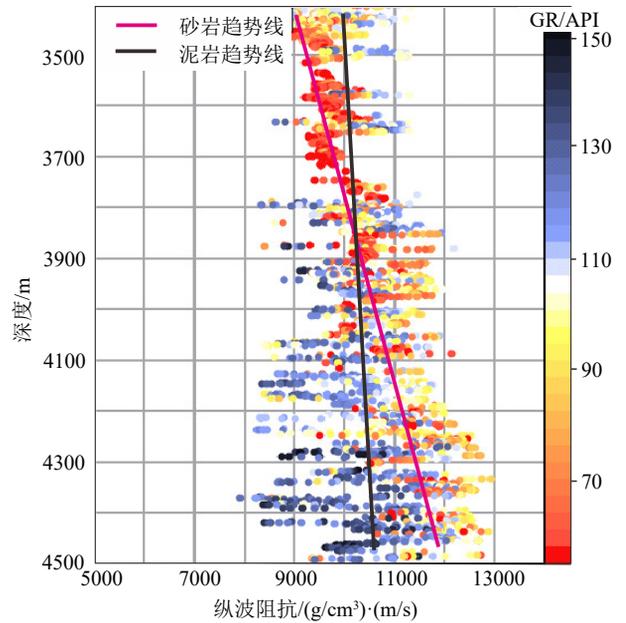
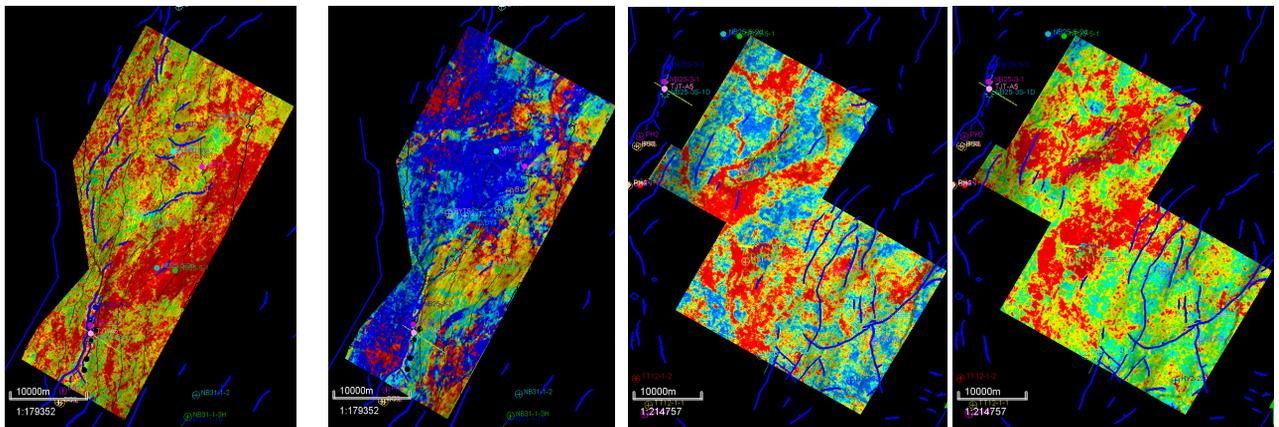


图 4 研究区砂泥岩纵波阻抗分布图  
Fig.4 Distribution of longitudinal wave impedance of sand mudstone in the study area



a. 中浅层 AVO 梯度最小振幅属性 b. 中浅层 90° 相移体瞬时振幅属性 c. 深层 AVO 梯度最小振幅属性 d. 深层 90° 相移体瞬时振幅属性

图 5 不同深度段 AVO 梯度体切片与 90°相移体切片对比

Fig.5 Comparison of AVO gradient body slices with 90° phase-shifting body slices for different depth segments

表 1 地层切片数据体选取与流程优化  
Table 1 Stratigraphic slice data set selection and procedure optimization

	常规地震	AVO梯度
物理意义	纵波阻抗变化率	纵波速度/横波速度变化率
岩性预测	浅层效果好, 深层差	深层效果好
沉积等时性	稳定标志层表现稳定同相轴, 代表等时界面	能较好反映复合砂体界面, 不一定等时
储层内部非均质性	振幅、波形局部变化均能较好指示储层内部非均质变化	抗噪性和分辨率低, 主要反映储层形态, 细节敏感性偏低
技术优化		

开展地层切片研究, 并依据地质形态开展迭代分析, 建立一套适用于本区的地层切片流程(表 1)。

### 3.2 多属性综合分析

常规地震沉积学分析主要利用地层切片技术沿目标层提取振幅类属性, 振幅类属性反映的是纵波阻抗变化率, 通常对应储层、流体的变化, 易于识别地质体主体形态<sup>[18]</sup>。但在地震信号信噪比较低、目标层厚度薄时, 单一振幅类属性难以得到清晰的地质细节, 对研究区井位部署影响较大。笔者探索了多属性综合分析方法, 在地层切片属性提取时从单一属性扩展到多属性, 引入频率、相位、波形等属性, 此类属性在刻画岩性边界、透镜体范围、窄水道形态上效果突出, 通过融合多属性的特点和优势, 刻画不同规模的砂体展布特征, 建立以多地震属性为宏观约束的优势相带刻画方法。

以研究区 SQ3 高位域晚期 2 砂组为例, 该时期

整体以河道沉积为主, 北部 T 气田砂体发育, 呈现砂包泥特征, 南部 P 气田地层增厚, 泥岩含量明显增多(图 2), 结合地震资料进一步多属性综合分析 2 砂组储层特征: 当储层厚度较大时(20~35 m), 振幅类属性对砂体刻画效果好, 最大振幅属性上河道呈南北向展布, 宽度为 1.2~2 km(图 6a), 反映 2 砂组沉积时期北北西方向物源为主物源, 地震剖面上表现为低频、中强反射的冲刷充填特征; 但当地质体规模小、储层厚度薄(20 m 以下)时, 振幅类属性难以得到清晰的地质细节, 平均瞬时频率属性(频率类属性)和上循环周期属性(波形类属性)却清晰地识别出多条正西物源供给的小型分流河道沉积, 自西侧地貌高势区向东汇入北西-南东向主河道, 剖面上表现为同相轴相位的突变或者微幅下切和微幅丘型复波特征。综合多属性融合结果绘制 2 砂组沉积微相图, 北部气田钻遇主水道, 以块状砂岩为主, 南部为次要物源供给区, 以分支水道沉

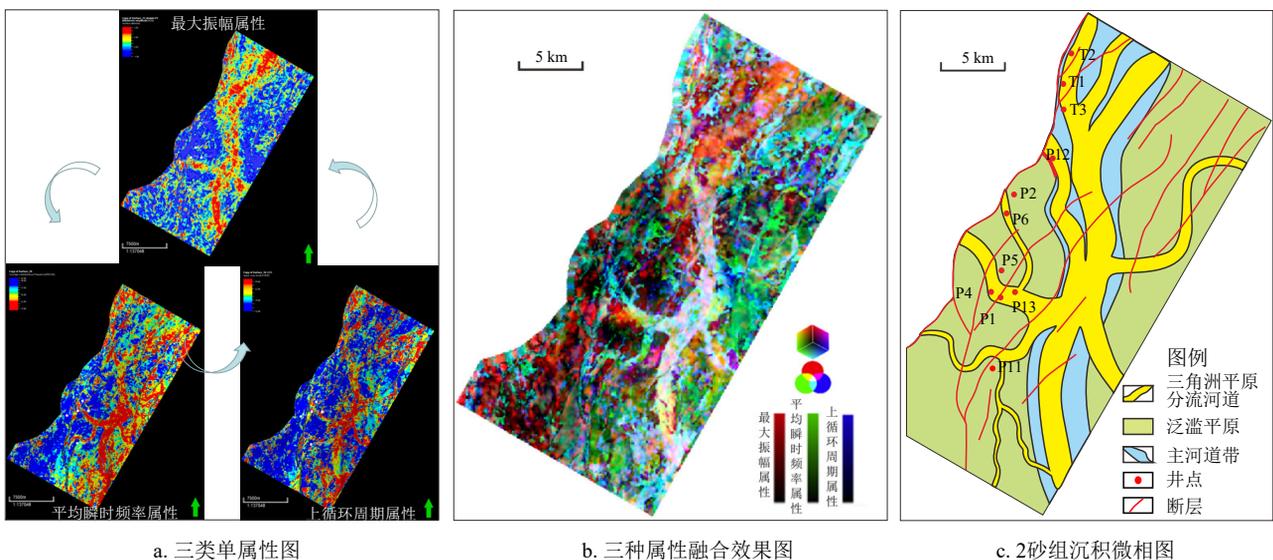


图 6 2 砂组地层切片及沉积学解释

Fig.6 The 2nd sand group multi-attribute stratigraphic slicing and sedimentological interpretation

积为主, 多属性融合分析明确了本区沉积展布特征(图 6b-c)。

### 3.3 地震相识别与拼接

鉴于研究区井位少、沉积环境复杂, 地震相分析是沉积相研究的常用方法。但前人研究呈现“两极分化”现象: ① 研究范围过大, 宏观模式化, 精度难以满足实际生产需求; ② 单气田内研究精度高, 但研究范围过小, 认识碎片化, 缺乏区域认识<sup>[19]</sup>。本次研究在层序格架控制下, 以沉积体系为核心, 在斜坡带优选适合各气田的数据体和属性进行拼接, 井震结合重建区域沉积体系, 明确优势相带分布, 实现区域沉积相精细化研究。

以 SQ3 内 5 号砂组为例: 南部 P 气田已钻井上储层欠发育, 以泥岩为主(图 2), 测井相多见指状, 岩芯上可见潮汐韵律层理及强烈生物扰动等构造(图 7), 富泥背景下砂岩透镜状反射突出, 常规振幅属性上表现为典型潮坪沉积, 东南部低带发育一系列垂直岸线的倒树枝状潮道沉积, 根部较宽, 向陆方向宽度变窄直至消亡, 宽度为 80~320 m(图 8a), 地震剖面背景相为高频、强振幅、平行反射, 潮道为该背景下的小型透镜状反射(图 8d)。相比之下, 北部 T 地区储层更为富集, 测井相以箱型块状砂岩为主(图 2), 地震背景相整体为低频弱振幅、波状反射特征(图 8c), 受压实作用影响, 富砂及砂泥互层背景下常规振幅属性难以有效区分砂泥岩,

AVO 梯度体却可以很好表征储层, 梯度属性上可见中等规模三角洲平原分流河道形态。在等时格架约束下, 将南部常规振幅属性与北部 AVO 梯度振幅属性进行归一化处理后实现无缝拼接(图 8a), 有效解决原有沉积认识碎片化的问题: 连片属性表明研究区南部受潮汐影响强, 中小规模潮道频繁发育, 垂直岸线方向近东西向展布, 向北潮汐作用减弱, 河控作用增强, 发育受潮汐影响三角洲沉积体系(图 8b)。

## 4 斜坡带沉积相展布与演化

基于上述地震沉积学优化研究, 结合古地貌、以及岩芯-测井相标定结果, 辅以剖面地震相特征, 对平湖组开展典型地层切片沉积学解释。

研究区地貌西北高、东南低, SQ2 沉积时期(8—12 砂组)整体物源供给相对弱, 尤其海侵域砂地比低, 以大段泥岩夹薄砂岩为主, 测井曲线以指状居多, 受多重水动力影响局部发育孤立箱型、钟型分流河道、潮道和沿岸沙坝等中厚砂体(图 7)。10 砂组 AVO 梯度切片(图 9)显示受北西向物源影响, T 气田发育三角洲平原分流河道沉积, 自北向南展布, 河道搬运的沉积物在断层下降盘入水堆积, 受波浪改造发育沿岸沙坝, 平行岸线分布。北部岩芯见块状砂岩、分选磨圆较差, 局部可见冲刷面, 指示受潮汐影响三角洲分流河道沉积(图 7)。南部

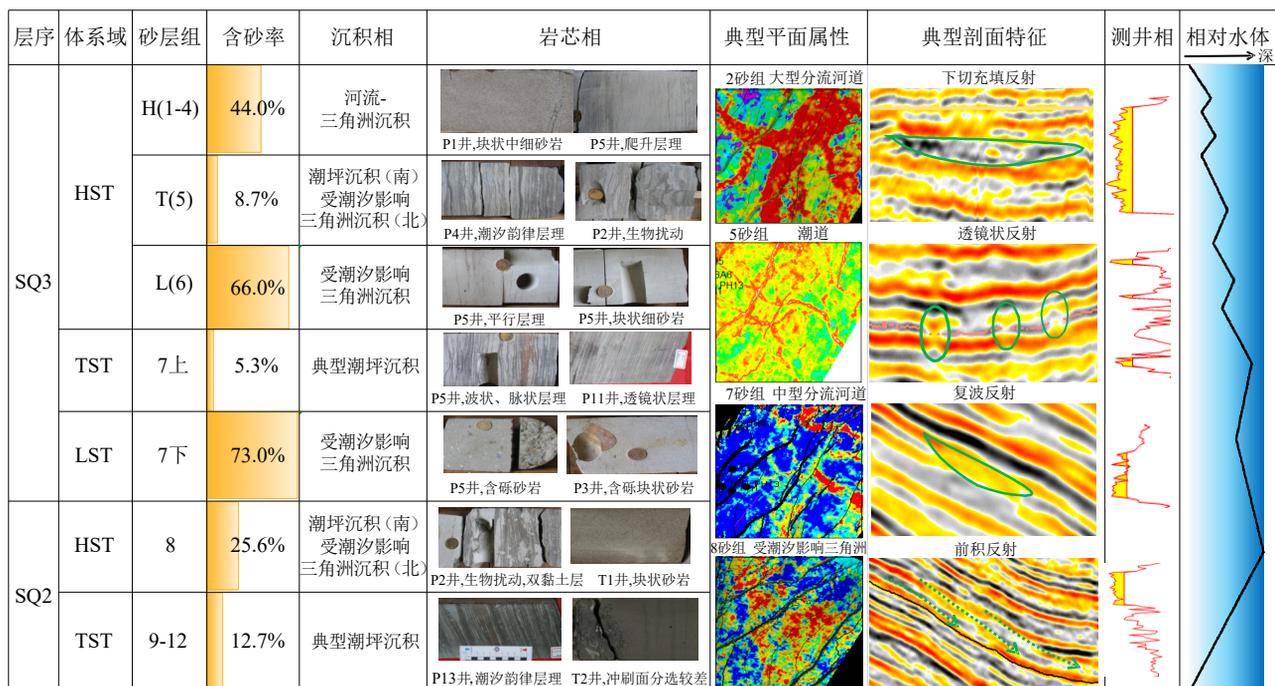


图 7 研究区平湖组沉积相标志及演化特征

Fig.7 Sedimentary facies markers and evolutionary characteristics of the Pinghu Formation in the study area

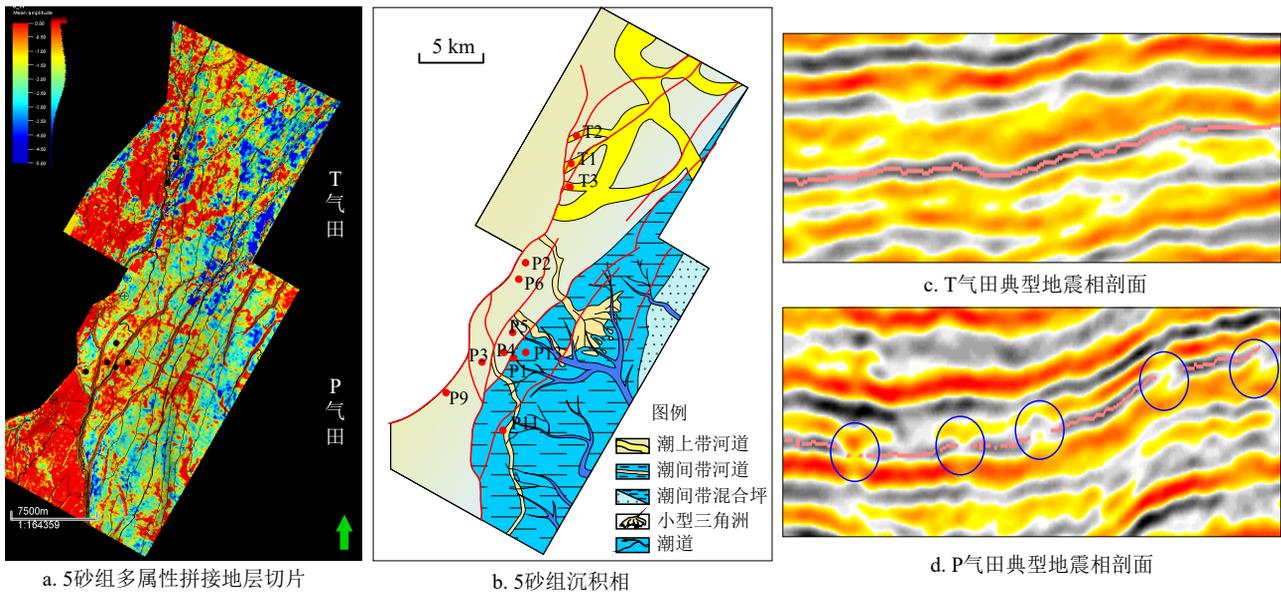


图8 地震背景相识别与拼接实例

Fig.8 Recognition of earthquake background phase and the examples of splicing

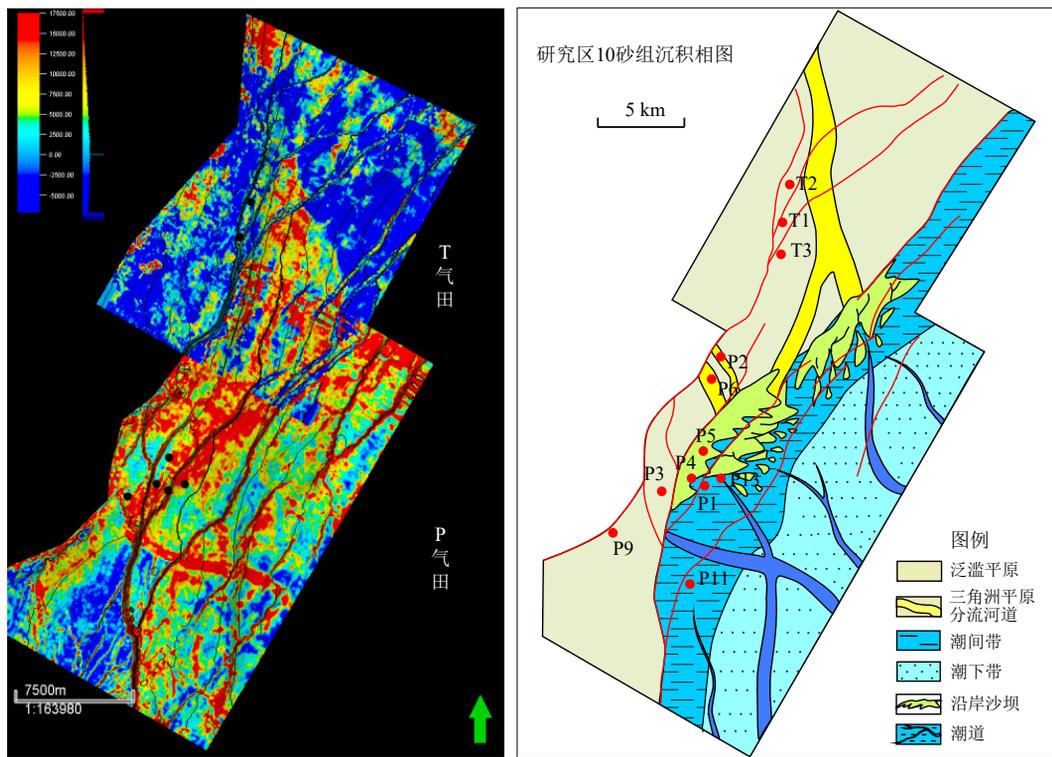


图9 SQ2海侵域多属性地层切片及沉积学解释(10砂组)

Fig.9 Multi-attribute stratigraphic slicing of the SQ2 transgressive system tract and the sedimentological interpretation (the 10th sand group)

P气田为地貌低势区,水深相对较大,以潮间带-潮下带泥煤沉积背景为主,岩芯上潮汐韵律层理、双黏土层和生物扰动现象丰富(图7),常规振幅属性上可见孤立潮道自海向岸近东西向展布,边缘平直且清晰(图9),表明潮汐作用强烈,自海向陆宽度逐

渐变窄直至消亡。

SQ3低位域(7砂组)早期物源供给充足,以广阔连片的建设型三角洲沉积为主,测井相为典型箱型、钟型特征,岩芯以块状砂岩、含砾砂岩为主,局部可见冲刷面,反映分流河道充填特征(图7);低位

域晚期以广泛分布的泛滥平原泥煤沉积和孤立分流河道沉积为主。受北西物源影响,7砂组多属性地层切片(图10)显示孤立分流河道沿凹陷长轴方向展布,宽约500~800 m,地震剖面上以复波反射为主(图7),南部P气田分流河道凸岸一侧伴生树枝状决口水道沉积,形态清晰。随着海平面的升高,SQ3海侵域时期,发育一套区域稳定的海泛泥岩,地震剖面上为强振幅、中低频、强连续性的“两红夹一黑”反射特征(图3)。

SQ3高位域地层厚度较大,垂向上由受潮汐影响的三角洲-潮坪沉积体系逐渐演变为三角洲平原沉积为主。5砂组沉积时期,北部储层富集,发育受潮汐影响的三角洲平原分流河道,向南潮汐作用为主,发育一系列倒树枝状潮道沉积(图8)。随着海平面进一步下降,研究区河控作用增强,4砂组沉积时期以三角洲平原分流河道-决口扇沉积为主,北西方向物源供给充足,近物源区T气田发育稳定分布的厚层块状砂岩,向南砂地比降低(图2),发育南北向三角洲平原分流河道沉积,平面形态为弯曲窄长条状,宽度为800~1000 m,地震剖面上为典型微幅下切反射特征,分流河道凸岸一侧发育决口扇;正西方向存在次要物源,发育北西-南东向小型三角洲平原分流河道,宽度50~100 m。向东水深增大,可

见小型三角洲前缘朵叶体;研究区东南部为潮间带—潮下带砂坪沉积,局部可见早期残存的断控三角洲砂体(图11)。平湖组晚期,地势平缓开阔,2砂组发育大规模的南北向展布的三角洲平原分流河道,局部见北西-南东向分流河道向低部位的主水道带汇聚(图6)。研究区北部已钻井位于平原主水道带,呈现砂包泥特征,南部井主要钻遇次要物源供给区,砂岩以薄箱型为主,局部可见潮汐韵律层理(图7)。

## 5 结论

(1)本文深入分析了斜坡带平湖组煤系地层的井震响应特征,建立了高精度层序地层格架,并基于地震沉积学原理,重点从3个方面对地震沉积学传统两项关键技术进行优化:①用90°相位体和AVO梯度体迭代分析,替代单一90°相位体进岩性标定;②融合振幅、频率、相位、波形等属性,针对性地刻画不同规模的砂体展布特征;③在地震地貌形态指引之下识别不同成因砂体地震相特征,进行“地震相-沉积相”的有效转化与气田间的地震背景相拼接。

(2)研究区以北西物源为主,正西物源为辅,北

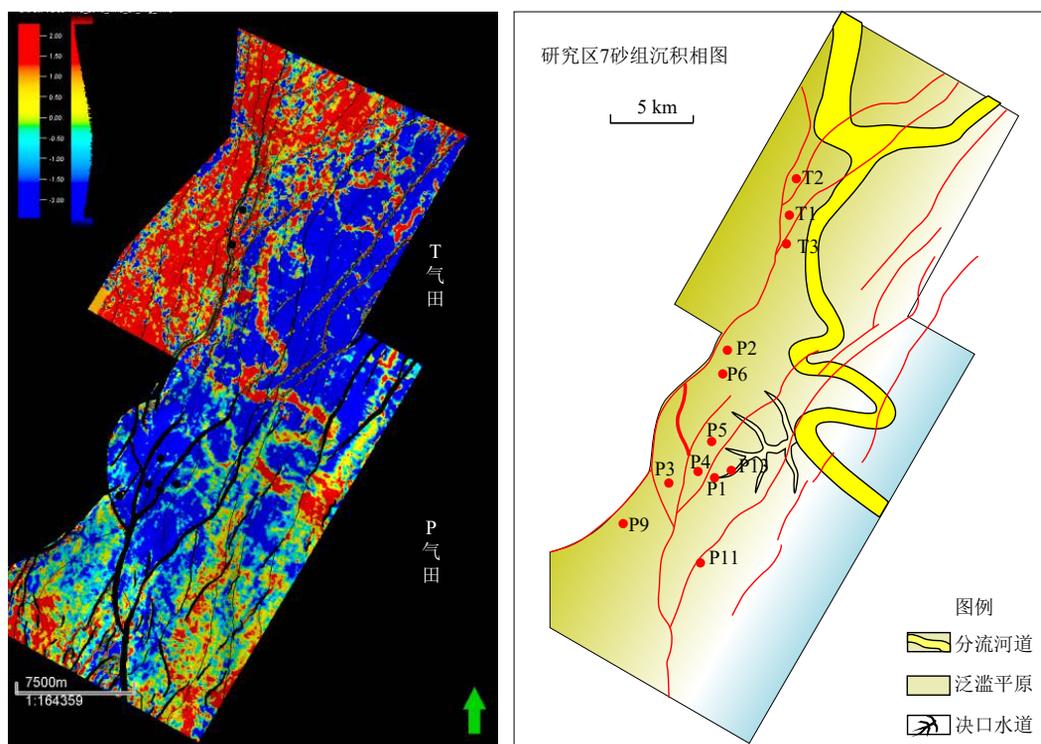


图10 SQ3低位域多属性地层切片及沉积学解释(7下砂组)

Fig.10 Multi-attribute stratigraphic slicing of the SQ3 low-stand systems tract and the sedimentological interpretation (the lower 7th sand group)

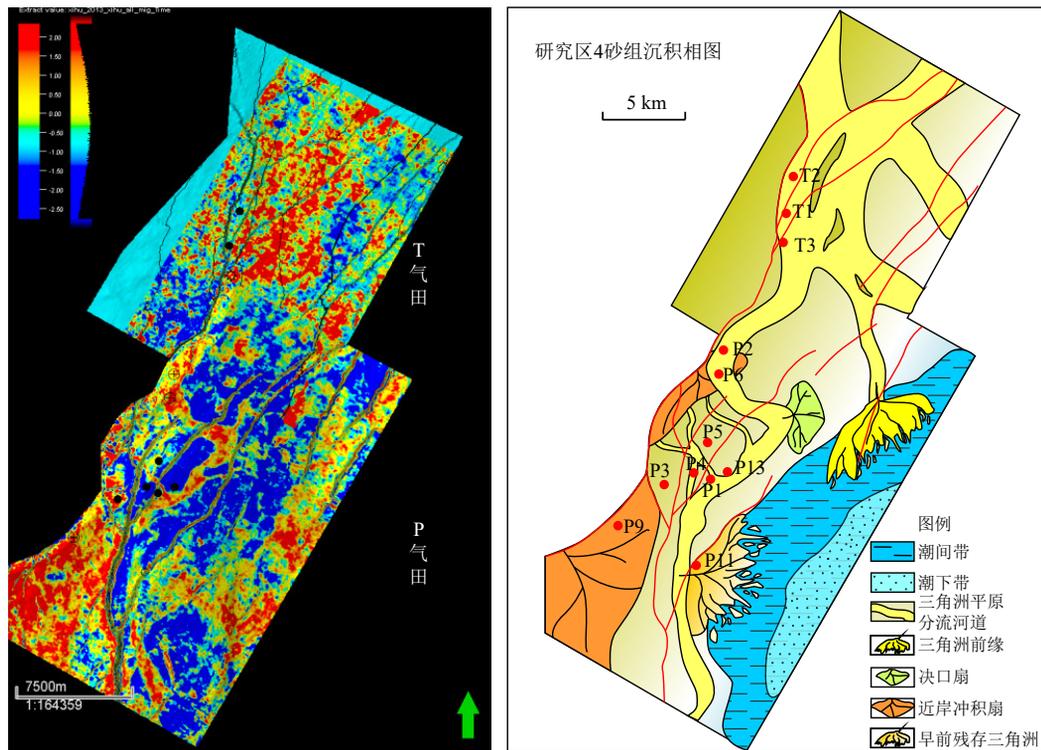


图 11 SQ3 高位域多属性地层切片及沉积学解释 (4 砂组)

Fig.11 Multi-attribute stratigraphic slicing of the SQ3 high-stand systems tract and the sedimentological interpretation (the 4th sand group)

部物源供给充足,发育受潮汐影响的三角洲,向南潮汐作用增强,以潮坪沉积体系为主。平湖组SQ2为潮坪背景下的泥包砂特征,潮道垂直岸线方向近东西向发育,北部偶见受潮汐影响三角洲平原分流水道和前缘沙坝沉积;SQ3低位域发育早期建设性三角洲和晚期孤立分流水道,水道自北向南展布,海侵域为区域稳定沉积的海泛泥岩,高位域受次级海平面变化影响,垂向上由受潮汐影响的三角洲-潮坪沉积体系逐渐演变为三角洲平原分流水道-决口扇沉积体系。物源-古地貌-水体综合控制了平湖组沉积展布和纵向演化。

### 参考文献 (References)

- [1] 姜亮. 东海陆架盆地油气资源勘探现状及含油气远景[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(1): 3-8. [JIANG Liang. Exploration status and perspective of petroleum resources in East China Sea shelf basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(1): 3-8.]
- [2] 李峻颖, 侯国伟, 秦兰芝, 等. 构造转换带制约下的砂体富集效应: 以平湖斜坡孔雀亭区平湖组为例[J]. 高校地质学报, 2021, 27(4): 459-468. [LI Junjie, HOU Guowei, QIN Lanzhi, et al. Sand enrichment constrained by structural conversion zone: the Pinghu Formation in the Kongqueting area of the Pinghu slope [J]. Geological Journal of China Universities, 2021, 27(4): 459-468.]
- [3] 王红岩, 周祥林, 胡伟, 等. 西湖凹陷平北斜坡带含煤系地层储层预测[J]. 石油物探, 2021, 60(4): 595-603. [WANG Hongyan, ZHOU Xianglin, HU Wei, et al. Prediction of coal-bearing strata reservoir in the Pingbei slope zone of the Xihu Depression [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2021, 60(4): 595-603.]
- [4] 王泽宇, 徐清海, 侯国伟, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷W井区平湖组潮汐沉积模式[J]. 海相油气地质, 2021, 26(2): 159-169. [WANG Zeyu, XU Qinghai, HOU Guowei, et al. Tidal depositional model of Pinghu Formation in W well block of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2021, 26(2): 159-169.]
- [5] 曾洪流. 地震沉积学在中国: 回顾和展望[J]. 沉积学报, 2011, 29(3): 417-426. [ZENG Hongliu. Seismic sedimentology in China: a review [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(3): 417-426.]
- [6] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 等. 中国地震沉积学研究现状和发展思考[J]. 古地理学报, 2020, 22(3): 397-411. [ZHU Xiaomin, DONG Yanlei, ZENG Hongliu, et al. Research status and thoughts on the development of seismic sedimentology in China [J]. Journal of Palaeogeography, 2020, 22(3): 397-411.]
- [7] 刘景彦, 林畅松, 肖建新, 等. 东海西湖凹陷第三系主要不整合面的特征、剥蚀量的分布及其意义[J]. 现代地质, 1999(4): 432-438. [LIU Jingyan, LIN Changsong, XIAO Jianxin, et al. Characteristics and erosions of the major tertiary unconformities and their significance to petroleum exploration in the Xihu trough, the East China Sea [J]. Geoscience, 1999(4): 432-438.]
- [8] 武法东, 张燕梅, 周平, 等. 东海陆架盆地第三系沉积构造动力背景分析[J]. 现代地质, 1999, 13(2): 37-41. [WU Fadong, ZHANG Yanmei, ZHOU Ping, et al. Tertiary basin setting analysis and sedimentary dynamics of the East China Sea shelf basin [J]. Geoscience, 1999, 13(2): 37-41.]

- [9] 陶瑞明. 从西太平洋板块构造探讨东海陆架盆地形成机制和类型划分[J]. 中国海上油气(地质), 1994, 8(1): 16-22. [TAO Ruiming. Discussion on basin formation mechanism and basin types in East China Sea continental shelf basin based on West Pacific plate tectonics [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1994, 8(1): 16-22.]
- [10] 梁若冰, 李玉珍, 李纯洁, 等. 平湖油气田地质特征与勘探方向[J]. 海洋石油, 2008, 28(2): 7-13,57. [LIANG Ruobing, LI Yuzhen, LI Chunjie, et al. Geological characteristics and exploration targets of Pinghu Oilfield [J]. Offshore Oil, 2008, 28(2): 7-13,57.]
- [11] 刘成鑫. 东海平湖油气田平湖组沉积相研究[J]. 海洋石油, 2010, 30(2): 9-13. [LIU Chengxin. Study on sedimentary facies for Pinghu Formation in Pinghu oil and gas field in East China Sea Basin [J]. Offshore Oil, 2010, 30(2): 9-13.]
- [12] 侯国伟, 李帅, 秦兰芝, 等. 西湖凹陷西部斜坡带平湖组源-汇体系特征[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 29-39. [HOU Guowei, LI Shuai, QIN Lanzhi, et al. Source-to-Sink system of Pinghu Formation in West slope belt of Xihu sag, East China Sea basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(3): 29-39.]
- [13] 赖生华, 白璞, 叶超, 等. 鄂尔多斯盆地高家河地区山西组二段下部地震沉积学研究[J]. 石油实验地质, 2020, 42(1): 79-87. [LAI Shenghua, BAI Pu, YE Chao, et al. Seismic sedimentology of lower part of second member of Shanxi Formation in Gaojiahe area, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 79-87.]
- [14] 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. [JIANG Yiming, SHAO longyi, LI Shuai, et al. Deposition system and stratigraphy of Pinghu Formation in Pinghu tectonic Belt, Xihu Sag [J]. Geoscience, 2020, 34(1): 141-153.]
- [15] 李文俊, 段冬平, 何贤科, 等. 西湖凹陷HY气田低渗储层分类描述及流体检测[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(12): 17-26. [LI Wenjun, DUAN Dongping, HE Xianke, et al. Category description and fluid detection for low permeability reservoirs in HY gas field of Xihu sag [J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(12): 17-26.]
- [16] 庞军刚, 常梁杰, 国吉安, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组湖相水道-朵状体浊积扇沉积模式[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2022, 52(1): 144-158. [PANG Jungang, CHANG Liangjie, GUO Ji'an, et al. Depositional model of deep lacustrine sediment gravity flow deposits with well developed channels and lobes in Yanchang Formation, southern Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2022, 52(1): 144-158.]
- [17] 吴宇翔, 柳保军, 丁琳, 等. 珠江口盆地西江凹陷南部文昌组层序地层及沉积体系研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(1): 146-158. [WU Yuxiang, LIU Baojun, DING Lin, et al. Study on sequence stratigraphy and sedimentary systems of the Wenchang Formation in the southern Xijiang depression of the Pearl River Mouth Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(1): 146-158.]
- [18] 刘英辉, 蔡华, 段冬平, 等. 西湖凹陷平湖地区平湖组海侵体系域潮控三角洲-潮坪沉积特征及模式[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(1): 33-40. [LIU Yinghui, CAI Hua, DUAN Dongping, et al. The sedimentary characteristics of tidal delta and tidal flat in transgressive system tract of Pinghu Formation in Pinghu area, Xihu Sag [J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(1): 33-40.]
- [19] 常吟善, 段冬平, 张兰, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带A气田沉积体系定量表征及海平面变化周期性探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(3): 12-21. [CHANG Yinshan, DUAN Dongping, ZHANG Lan, et al. Quantitative characterization of the depositional system in Gas field A, Pinghu slope belt, Xihu Sag and its bearing on periodicity of sea level changes [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2021, 41(3): 12-21.]