

文章编号：1006-6616 (2002) 03-0239-09

东海陆架盆地古近—新近系高分辨率层序

赵省民¹, 张正喜², 吴必豪¹, 王振宇³, 马惠福³, 郑军³

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 山西煤田地质研究所, 太原 030001;
3. 上海海洋石油局, 上海 200120)

摘要：东海陆架盆地是我国重要的新生代海上含油气盆地，其中堆积了巨厚的古近—新近系含油层系。作者通过对录井资料的分析，在古近—新近系含油层系中大致识别出6大沉积体系、12种沉积相和13种沉积亚相。在此基础上，本文借助相序、相组合、相分异、沉积物体积划分以及地层叠置样式的综合分析，对该含油层系进行了高分辨率层序地层学研究，在其中识别出了59~64个短期旋回、21~29个中期旋回和7~11个长期旋回。最后，将文中所划分的高分辨率层序与前人的地震层序进行了对比。

关键词：沉积相；基准面旋回；高分辨率层序；陆架盆地；东海

中图分类号：P539.2

文献标识码：A

1 概述

东海陆架盆地为一中、新生代沉积盆地，是我国重要的海上含油气盆地。其极大的油气资源潜力早已引起了国内外石油公司和地质学家的浓厚兴趣。尽管从20世纪60年代起，就有众多的国内外石油公司在此进行勘探，但真正取得进展是在20世纪80年代中期以后。自那时以来，我国针对该盆地内的重点坳（凹）陷开展了多期油气地质勘探，发现了数个油气田和含油气构造，获得了可观的油气资源量。鉴于此，运用新的理论和方法重新认识、研究该含油气盆地很有必要。为此，本文拟用Cross等人的以基准面（base level）为驱动机制的高分辨率层序地层学理论^[1]对该含油气盆地进行层序地层学研究。

2 基本地质特征

2.1 区域地质

东海陆架盆地位于欧亚板块东缘，东与太平洋板块和菲律宾板块毗邻，是西太平洋沟—弧—盆体系的一部分。西为浙闽隆起区，东以钓鱼岛隆褶带与冲绳海槽盆地相隔，西南跨台

注：本文得到国家海洋126专项（HY126-03-17）的资助

收稿日期：2002-03-19

作者简介：赵省民（1964-），男，副研究员，1997年获得中国地质大学（北京）能源系博士学位，主要从事油气地质等沉积矿产的研究。

湾西部的澎湖隆起区而与南海的珠江口盆地接壤, 北东与日本海盆相邻(图1)。其演化经历了早期裂谷(E_1-E_2)、中期拗陷(E_3-N_1)和晚期区域沉降(N_2)三个阶段²¹。

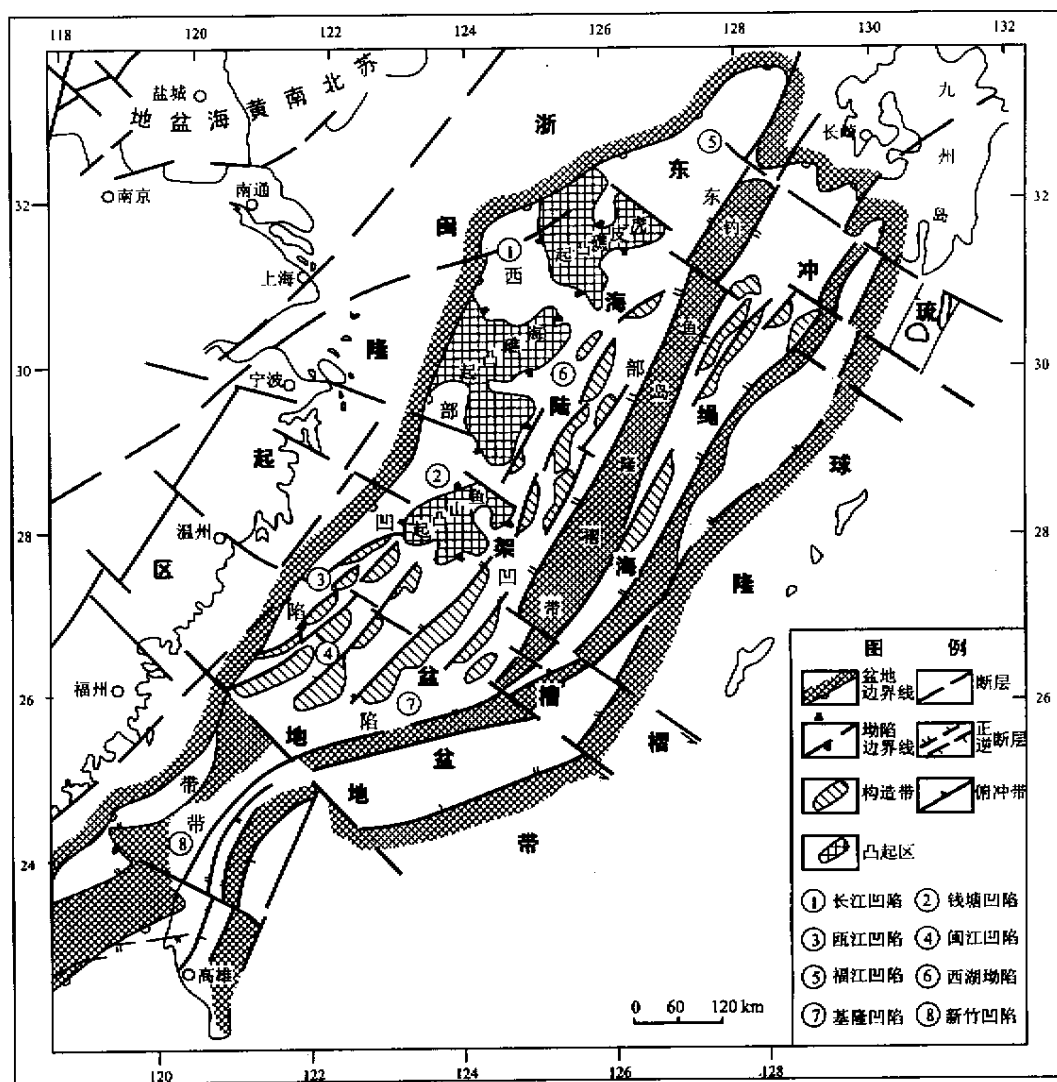


图1 东海陆架盆地区域构造(据周志武等^①修改)

Fig.1 Regional tectonics of shelf basin, East China Sea

(Modified from Zhou Zhiwu et al)

盆地内主要充填了一套中、新生代地层。自下而上依次为: 古近系古新统(灵峰组)、始新统(瓯江组和平湖组)和渐新统(花港组), 新近系中新统(龙井组、玉泉组和柳浪组)、上新统(三潭组), 以及第四系(东海群)等(表1)。地层厚度多在1000m~10000m之间。整个新生代期间, 该盆地的沉降、沉积中心基本一直位于东部凹陷带³¹的西湖凹陷和基隆凹陷一带, 沉积总厚达15000m以上。内部各次级凹陷的地层均呈东厚西薄之特征。

① 东海地质构造特征及油气资源研究。地质矿产部海洋地质综合研究大队, 1986。

2.2 沉积组成及成因

盆内古近—新近系主要由浅灰—灰白色不等粒碎屑岩、粉沙质泥岩、深灰—灰黑色泥岩、沥青质泥岩和煤层等互层而成。其中，古近系主要为滨—浅海相夹沼泽相，新近系为河湖相夹沼泽相，总体表现为“南海北陆，下海上陆”之岩相特征。

表 1 东海陆架盆地新生代地层、地震层序* 及主要含油层序的高分辨率层序划分

Table 1 Cenozoic strata, seismic sequence and high resolution sequence of Tertiary oil-bearing formations within shelf basin, East China Sea

地层			厚度 (m)	反射界面	地震层序		长期旋回	构造运动
系	统	组 (群)			层序	亚层序		
第四系		东海群 (Qd)	200—450			I		
新近系	上新统	三潭组 (N _{3s})	200—700	T ₂ ⁰				龙井运动
		柳浪组 (N ₁ ^l)	0—1400	T ₂ ²		II ₁	LC ₁₀	
	中新统	玉泉组 (N ₁ ^y)	400—2000	T ₂ ³		II ₂	LC ₉	花港运动
		龙井组 (N ₁ ^l)	200—1400	T ₂ ⁴		II ₃	LC ₈	
		龙井组 (N ₁ ^l)	200—1400	T ₂ ⁵		II ₄	LC ₅ —LC ₇	
古近系	渐新统	花港组 (E _{3h})	200—1500	T ₃ ⁰			LC ₇ —LC ₄	玉泉运动
	始新统	平湖组 (E _{2p})	500—3000			III	LC ₁ —LC ₂	
		瓯江组 (E _{2o})						
	古新统	灵峰组 (E ₁ ^l)	500—2500	T ₄ ⁰		IV		瓯江运动
前新生代				T ₅ ⁰				基隆运动

*表中地震层序划分结果引自《东海地震地层学研究报告》(上海海洋石油局, 1985)

3 高分辨率层序格架

3.1 基本理论与方法

3.1.1 基本理论

如前所述, Cross 等人的高分辨率层序地层学是建立在以基准面为驱动机制的理论之上的。因此, 对于基准面的科学认识是高分辨率层序地层学研究的重要前提。目前, 关于基准面的含义有两种不同的理解, 一种观点认为, 基准面即海 (湖) 平面, 亦即所谓的地貌基准面 (geomorphic base level); 另一些人^[1,4]则认为, 基准面并非海平面, 也不是相当于海平面的向陆延伸的水平面, 而是一个单一的、连续的 (全球范围内) 相对地球表面波状起伏的、并向盆地稍有倾斜的抽象面, 之上沉积物不会停息, 之下则发生沉积和埋藏, 其位置、运动方向和升降幅度不断随时间变化, 为一沉积基准面或地层基准面 (stratigraphic base level)。

高分辨率层序地层学的理论认为, 基准面升降将引起可容纳空间 (accommodation) 的改变, 并导致地表不同地区可容纳空间和沉积物供给量 (sediment supply) 之间相对关系 (即

A/S 比值) 的变化, 从而使近地表处发生侵蚀、沉积物路过 (bypassing, 即沉积物经过不留) 沉积和非补偿性沉积等一系列地质作用过程, 导致地质记录上众多“岩石 + 界面”的形成, 驱动着盆地充填序列的形成和演化。

基准面升降不但控制着地表沉积、剥蚀等地质作用的发生, 而且决定了盆地内的沉积组成、沉积相特征 (包括地质作用特征) 地层叠置样式 (stacking patterns) 和地层保存程度等一系列沉积特征。因此, 通过盆内沉积相识别、各种有成因联系的沉积相组合特点研究和地层叠置样式分析等手段, 就可以判定基准面运动的方向和幅度, 确定沉积间断面及其相应整合面, 进而划分各级层序, 建立高分辨率层序地层格架, 这便是高分辨率层序地层学研究方法的理论基础。

3.1.2 研究方法

基准面上升与下降的地层响应构成一个完整的基准面旋回, 上升、下降阶段的地层响应分别称之为上升、下降基准面半旋回。一个最基本的基准面旋回称为短期基准面旋回 (简称短期旋回, 下同), 其识别与划分主要是通过沉积相的序列、组合、分异 (facies differentiating) 等特点的分析实现的, 它与 Exxon 公司的“准层序 (parasequence)^[5, 6]”相当。借助短、中期旋回的沉积体积划分 (volumetric partitioning——即地层保存程度分析) 和叠置样式研究, 还可进一步复合成中、长期或更高级别的基准面旋回 (分别简称为中、长期或更高级别的旋

表 2 东海陆架盆地古近—新近系含油层系的沉积相与沉积体系划分

Table 2 Sedimentary facies and systems of Paleogene-Neogene oil-bearing formations within shelf basin, East China Sea

沉积体系	沉积相	沉积亚相	岩石类型	主要分布层位	
河流	河道	边滩	中粗粒砂岩	龙井组、玉泉组、柳浪组和花港组下部	
		河床滞留	含砾或砾质砂岩		
	泛滥平原	堤岸	天然堤		含泥粉细砂岩
		决口扇	薄层中粗粒砂岩		
	泛滥盆地 (或泛滥湖泊)		(含粉沙) 泥岩		
三角洲	三角洲平原	天然堤	含泥粉细砂岩	灵峰组、甌江组和平湖组	
		分流间湾	(含粉沙) 泥岩		
		分流河道	中粗粒砂岩		
	三角洲前缘	河口沙坝	细~中粗粒砂岩		
		远沙坝	泥质粉细砂岩		
前三角洲		块状泥岩			
湖泊	滨浅湖		砂岩、砂质泥岩	花港组、龙井组上部	
	半深湖		(含粉沙) 泥岩		
滨、浅海	局限海湾		暗色块状泥岩	灵峰组、甌江组和平湖组	
	潮坪	泥坪	(含粉沙) 泥岩		
		混合坪	含泥粉细砂岩		
沙坪		中~细粒砂岩			
沼泽	湿地沼泽		灰色~深灰色泥岩	各低能沉积组合内	
	泥炭沼泽		煤		
碳酸盐岩台地	台地边缘浅滩		砂质灰岩、生物碎屑灰岩	局部甌江组和平湖组	

回,下同),它们分别与 Exxon 公司的“准层序组”和“层序^[5,6]”相当。可见,沉积相与沉积体系分析是高分辨率层序地层研究的基础和关键,短期旋回的识别与划分则是这项研究的着眼点。

各级旋回的划分,可以基准面下降到上升的转换点来划分,也可以其上升到下降的转换点来划分。考虑到本区的沉积特点,笔者在此选择后者。

3.2 高分辨率层序划分

3.2.1 沉积相与沉积体系

通过综合录井资料分析,并结合前人的研究成果^[2,7-10],笔者在东海陆架盆地的古近—新近系中共识别出河流、湖泊、三角洲、滨海—浅海碎屑海岸、沼泽和碳酸盐台地等 6 大沉积体系,其中还可进一步划分出 12 种沉积相和 13 种沉积亚相(表 2)。

3.2.2 各级基准面旋回划分

如前所述,高分辨率层序地层学研究应从短期旋回的识别、划分入手。基于此,下文将从区内几个主要沉积体系短期旋回的划分展开讨论,然后论述中、长期旋回的识别与划分。在滨—浅海沉积体系内,通过自下而上的泥坪→混合坪→沙坪这一相序分析,可划分出短期基准面上升半旋回,借助于与此相反的相序可划分出短期基准面下降半旋回,二者构成一完整的短期旋回(图 2)。同样,通过三角洲体系的前三角洲→远沙坝→分流河道→分流间湾的相序分析,可识别出该沉积体系的短期旋回(图 3)。在河流体系内,河道→堤岸→泛滥平原(包括泛滥盆地和决口扇)的沉积相序指示基准面上升(A/S 增大),系短期基准面上升半旋回,河道底部的不整合面是基准面降至地表以下(A/S < 0)的产物,可视为河流沉积的短期基准面下降半旋回。同时,决口扇的形成与消亡乃基准面升降的产物,可与其顶底的

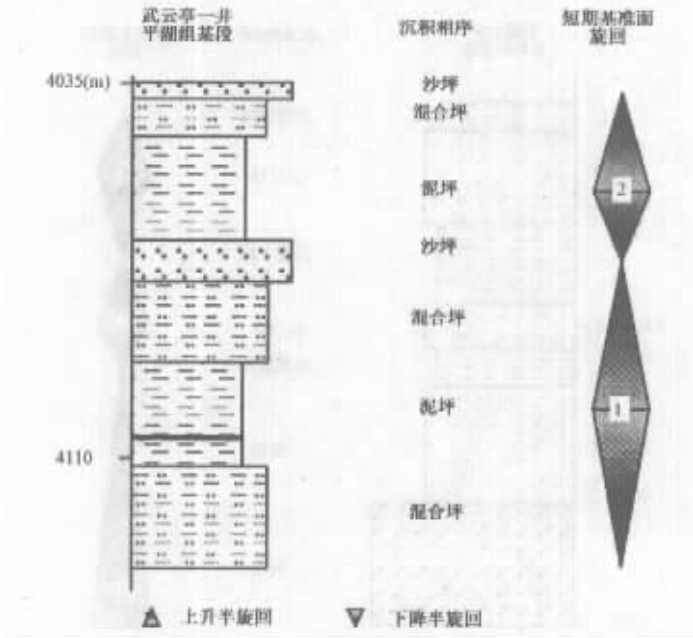


图 2 滨岸体系的短期基准面旋回划分

Fig.2 Subdivision of short-term base level cycles of coastal depositional system of shelf basin, East China Sea

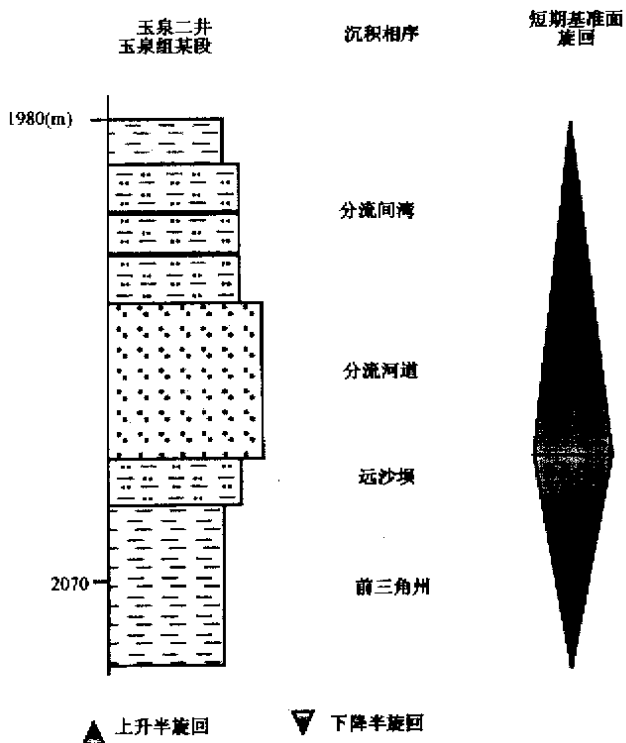


图3 三角洲体系的短期基准面旋回划分

Fig.3 Subdivision of short-term base level cycles of delta depositional system of shelf basin East China Sea

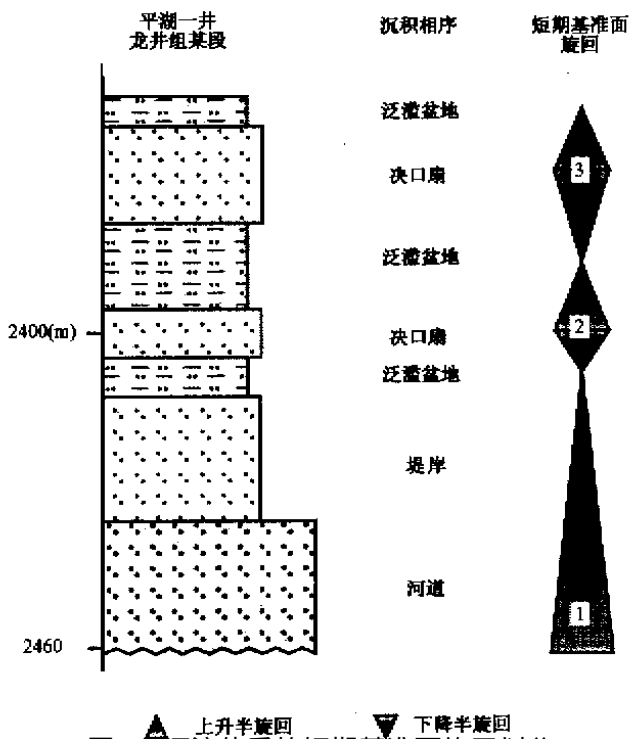


图4 河流体系的短期基准面旋回划分

Fig.4 Subdivision of short-term base level cycles of fluvial depositional system of shelf basin East China Sea

泛滥盆地沉积构成一完整的短期旋回（图 4）。

现以河流体系为例讨论中、长期旋回的识别与划分（图 5）。从短期旋回 1→3，沉积体积增大，相间相组增多，显示基准面上升（A/S 增大），构成了中期旋回 1；由短期旋回 3→4，河道相组体积增大，说明基准面又有所下降，所以，此二旋回之间为中期旋回的转折点。从短期旋回 4→5，明显表现为中期基准面持续上升，短期旋回 5 只是在中期基准面上升的总体背景下，短期基准面波动的产物。由中期旋回 1→2，后者河道沉积的比例明显较低，粒度更细，距陆源区更远，显示中期基准面上升，形成一长期旋回（图 5）。

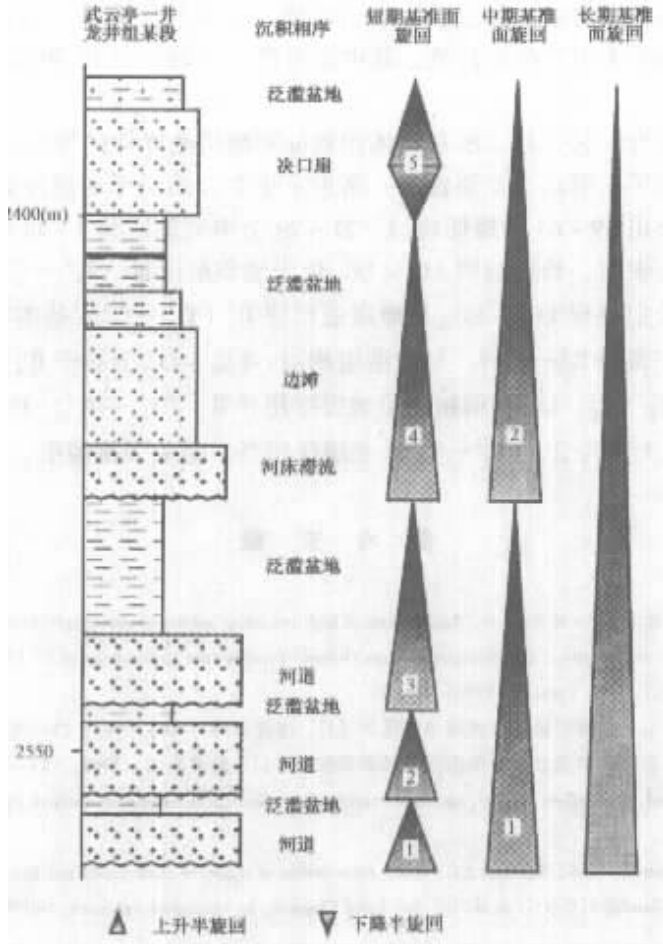


图 5 河流体系的中、长期基准面旋回划分

Fig.5 Subdivision of medium-long-term base level cycles of coastal depositional system of shelf basin , East China Sea

经过以上分析，本文在东海陆架盆地古近—新近系主要含油层系的 2 个地震亚层序（II ~ III）内，就分别划分出了 59 ~ 64 个短期旋回、21 ~ 29 个中期旋回、7 ~ 11 个长期旋回（表 1）。

从表 1 可以看出，长期旋回 LC₁ ~ LC₂ 大体相当于始新统平湖组，位于地震层序 III（T₄⁰—T₃⁰）的上部。长期旋回 LC₃ ~ LC₁₀（此处为 8 个，区域上约 7 ~ 11 个）与地震亚层序 II（T₃⁰—T₂⁰）基本相当。其中，LC₃ ~ LC₄ 与花港组相当，位于 II₄ 亚层序下部（T₃⁰—T₂⁵）；

LC₅ ~ LC₇ 对应于龙井组, 分布于 II₄ 亚层序上部 (T₂⁵—T₂⁴); LC₈、LC₉ 可与玉泉组对比, 分别相当于地震亚层序 II₃ (T₂⁴—T₂³) 和 II₂ (T₂³—T₂²); LC₁₀ 对应于柳浪组, 大致与 II₁ (T₂²—T₂⁰) 亚层序相当。

4 初步认识

通过对东海陆架盆地充填序列的一系列分析、研究, 初步取得了如下认识:

(1) 东海陆架盆地的古近—新近系大致由河流、三角洲、湖泊、滨海—浅海碎屑海岸、沼泽和碳酸盐台地等 6 大沉积体系构成, 其中还可进一步划分出 12 种沉积相和 13 种沉积亚相;

(2) 相序、相组合、相分异、沉积物体积划分和地层叠置样式等高分辨率层序学研究方法的运用, 大大提高了东海陆架盆地古近—新近系主要含油层系的层序研究精度, 在区区 2 个地震层序内竟划分出 59 ~ 64 个短期旋回、21 ~ 29 个中期旋回和 7 ~ 11 个长期旋回;

(3) 分析、研究表明, 长期旋回 LC₁ ~ LC₂ 位于地震层序 III (T₄⁰—T₃⁰) 上部, 大体相当于始新统平湖组。长期旋回 LC₃ ~ LC₁₀ 与地震亚层序 II (T₃⁰—T₂⁰) 基本相当。其中, LC₃ ~ LC₄ 位于 II₄ 亚层序下部 (T₃⁰—T₂⁵), 与花港组相当; LC₅ ~ LC₇ 分布于 II₄ 亚层序上部 (T₂⁵—T₂⁴), 对应于龙井组; LC₈、LC₉ 分别相当于地震亚层序 II₃ (T₂⁴—T₂³) 和 II₂ (T₂³—T₂²), 可与玉泉组对比; LC₁₀ 大致与 II₁ (T₂²—T₂⁰) 亚层序相当, 对应于柳浪组。

参 考 文 献

- [1] Cross T A, Baker M R, Chapin M A, et al. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis [A]. In Eschard R, Doligez B, ed. Reservoir Characterization from Outcrop Investigation Proceedings of 7th Exploration and Production Research Conference [C]. Paris Technip, 1993: 11 ~ 33.
- [2] 王岚, 谢月芳, 张纪. 东海春晓构造藏条件浅析 [J]. 海洋石油, 2001, (4): 23 ~ 29.
- [3] 陈琳琳, 王文强. 东海陆架盆地西湖凹陷深层烃源岩探讨 [J]. 海洋石油, 1999, (2): 1 ~ 8.
- [4] Weller H E. Baselevel, lithosphere surface, and time-stratigraphy. Geological Society of America Bulletin [J], 1964, 75: 599 ~ 610.
- [5] Van Wagoner, Posamentier H W, Mitchum J C, et al. An overview of sequence stratigraphy and key definitions [A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G S G, et al, ed. Sea Level Changes, an Integrated Approach. SEPM. Special Publication, 1988, 42: 39 ~ 45.
- [6] Van Wagoner, Mitchum J C, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops [J]. AAPG, Methods in Exploration Series 7, 1990: 55.
- [7] 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, 18 (4): 69 ~ 77.
- [8] 陈琳琳. 东海西湖凹陷春晓地区渐新世盆地充填机制探讨 [J]. 海洋石油, 2000, (4): 8 ~ 4.
- [9] 陈琳琳. 东海西湖凹陷平湖组海进潮道砂体成因分析 [J]. 海洋石油, 2000, (2): 15 ~ 21.
- [10] 陈琳琳. 东海陆架早第三纪裂谷盆地地层成因浅析 [J]. 中国海上油气, 13 (2): 79 ~ 85.

A STUDY ON HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY OF PALEOGENE-NEOGENE OIL-BEARING STRATA IN SHELF BASIN , EAST CHINA SEA

ZHAO Xing-min¹ , ZHANG Zheng-xi² , WU Bi-hao¹ , WANG Zhen-yu³ , MA Hui-fu³ , ZHENG Jun³

(1. *Institute of Mineral Resources , CAGS Beijing 100037 ; 2. Shanxi Institute of Coal Geology Taiyuan 030001 ;*

3. Shanghai Bureau of Offshore Petroleum Shanghai 200120 , China)

Abstract : Shelf basin of East China Sea , filled with Tertiary oil-bearing strata that is great in thickness , is an important Cenozoic oil-bearing basin in China. With the help of analysing comprehensive well logs , 6 sedimentary systems with 12 sedimentary facies and 13 sedimentary subfacies of the oil-bearing strata is identified. By making a comprehensive research into facies successions , facies associations , facies differentiation , volumetric partitioning , and stacking patterns of strata , the paper subdivides base level cycles of 59 ~ 64 short-term , 21 ~ 29 medium-term , and 7 ~ 11 long-term , and compare the high resolution sequences with the former seismic sequences.

Key words : sedimentary facies ; base level cycle ; high resolution sequence ; shelf basin ; East China Sea