



### 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

吴宇翔, 柳保军, 丁琳, 谢世文, 李小平, 舒誉, 刘冬青, 王宇辰, 郭伟

### Study on sequence stratigraphy and sedimentary systems of the Wenchang Formation in the southern Xijiang depression of the Pearl River Mouth Basin

WU Yuxiang, LIU Baojun, DING Lin, XIE Shiwen, LI Xiaoping, SHU Yu, LIU Dongqing, WANG Yuchen, and GUO Wei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021022001>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 北康盆地基底卷入断层特征及其对南海南部构造演化的启示

Features of the basement-involved faults in the Beikang Basin and their implications for the tectonic evolution of the southern South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 116



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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.

# 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

吴宇翔<sup>1,2</sup>, 柳保军<sup>1,2</sup>, 丁琳<sup>1,2</sup>, 谢世文<sup>1,2</sup>, 李小平<sup>1,2</sup>, 舒誉<sup>1,2</sup>, 刘冬青<sup>1,2</sup>, 王宇辰<sup>1,2</sup>, 郭伟<sup>1,2</sup>

1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518000  
2. 中海石油深海开发有限公司, 深圳 518000

**摘要:** 珠江口盆地西江凹陷南部包括两个相邻洼陷: 西江 36 洼和番禺 4 洼, 钻探结果却揭示了截然不同的油气勘探前景, 其中, 番禺 4 洼探明储量已过亿吨, 而西江 36 洼却未有商业发现, 导致勘探上对西江 36 洼烃源潜力有所顾虑。为了揭示这种差异油气地质条件产生的原因, 亟待开展两个洼陷的对比研究。以主要烃源层系文昌组为切入点, 通过开展精细的层序-沉积研究, 进一步系统评估西江 36 洼烃源潜力。依据地震、钻井及分析化验等资料, 在西江 36 洼与番禺 4 洼文昌组共识别了 6 个三级层序。西江 36 洼和番禺 4 洼文昌组发育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇及湖泊沉积等沉积相类型, 垂向上沉积相带具有旋回特征。伴随裂陷不同阶段和边界断层活动差异, 陡坡带和缓坡带三角洲沉积体系规模呈现差异演化特征, 而湖盆和半深湖-深湖相规模总体呈现出先增大后减小的规律。沉积相带在横向上也具有明显的迁移特征, 表现为文六段时期先在西江 36 洼开始沉积, 文五段开始再扩展到番禺 4 洼, 同时文一段时期西江 36 洼湖盆已经消失, 只在番禺 4 洼沉积充填。进一步对比两个洼陷各三级层序反映优质烃源岩条件的半深湖-深湖规模及物源供给量, 结果显示在文六段至文四段时期两个洼陷烃源条件基本一致。鉴于该层段作为番禺 4 洼的主力源岩, 其巨大的生烃潜力已经被勘探所证实, 因此认为不能低估具有相似烃源条件的西江 36 洼生烃潜力。

**关键词:** 层序地层; 沉积体系; 西江 36 洼; 番禺 4 洼; 文昌组; 珠江口盆地

中图分类号: P736 文献标识码: A DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021022001

## Study on sequence stratigraphy and sedimentary systems of the Wenchang Formation in the southern Xijiang depression of the Pearl River Mouth Basin

WU Yuxiang<sup>1,2</sup>, LIU Baojun<sup>1,2</sup>, DING Lin<sup>1,2</sup>, XIE Shiwen<sup>1,2</sup>, LI Xiaoping<sup>1,2</sup>, SHU Yu<sup>1,2</sup>, LIU Dongqing<sup>1,2</sup>, WANG Yuchen<sup>1,2</sup>, GUO Wei<sup>1,2</sup>

1. Shenzhen Company, CNOOC China Ltd., Shenzhen 518000, China  
2. CNOOC Deepwater Development Limited, Shenzhen 518000, China

**Abstract:** The Xijiang depression in the Pearl River Mouth Basin consists of two adjacent sags, the Panyu 4 sag and the Xijiang 36 sag, in which quite different oil and gas exploration prospects have been revealed by drilling. The proved reserves of Panyu 4 sag have exceeded 100 million tons, while no commercial discoveries been found in the Xijiang 36 sag so far. In order to reveal the causes of such a difference in oil and gas geological conditions, it is necessary to carry out a comparative studies of the two sags. In this paper, the Wenchang Formation, the main source series, is selected as the key point for breakthrough, and the hydrocarbon source potential of Xijiang 36 sag is systematically evaluated through detailed sequence stratigraphic studies. Based on the data of seismic, drilling and laboratory analysis, six third-order sequences have been identified in the Wenchang Formation in both of the Xijiang 36 and Panyu 4 sags. There are fan delta, braided river delta, sublacustrine fan and lacustrine sedimentary facies in the Wenchang Formation of Xijiang 36 and Panyu 4 sags, and the sedimentary facies belts also show a cyclic patterns vertically. In the different stages of rifting and/or boundary fault activities, the scale of delta depositional system in steep slope zone and gentle slope zone shows different evolutionary features, whereas the scales of Lake Basin and its deep part in the middle lake expanded in the beginning and shrank later on. The sedimentary facies belt also has obvious migration in lateral direction. In the Wen-6 Period, the deposition was initiated in the Xijiang 36 sag, and then extended to Panyu 4 sag with time. In the period of Wen-1, the lake basin occurred only in the Panyu 4 sag and disappeared in the Xijiang 36 sag. The distribution pattern of semi deep and deep lake deposits and study

资助项目: 中海石油(中国)有限公司重大生产科研项目(SCKY-2020-SZ-21)

作者简介: 吴宇翔(1989—), 男, 工程师, 从事层序地层及石油地质综合研究, E-mail: wuyuxiang@qq.com

收稿日期: 2021-02-20; 改回日期: 2021-08-17. 周立君编辑

of sediment sources suggest that the high-quality hydrocarbon source potential values of each third-order sequence in the two sags are comparable and the source rock conditions are basically the same in the two sags in the wen-6 and wen-4 periods. As the main source rock of the Panyu 4 sag has been confirmed by exploration, therefore, it is considered that the exploration potential of Xijiang 36 sag with similar hydrocarbon source conditions should not be underestimated too early.

**Key words:** sequence stratigraphy; sedimentary system; Xijiang 36 sag; Panyu 4 sag; Wenchang Formation; the Pearl River Mouth Basin

珠江口盆地西江凹陷南部西江 36 洼与番禺 4 洼地理位置相邻(图 1a), 勘探结果却截然不同, 番禺 4 洼是一个典型的“小而肥”富生烃洼陷, 探明储量已超过亿吨<sup>[1-3]</sup>。相比而言, 西江 36 洼截止目前尚未有商业发现, 油气勘探前景非常不明朗。

目前针对番禺 4 洼文昌组层序地层及沉积体系已有多期研究<sup>[1,3-5]</sup>, 对于西江 36 洼文昌组研究较少, 未见相关报道。该地区最新重采集处理的三维地震资料已覆盖西江 36 洼与番禺 4 洼整个地区, 区域地层研究表明两个洼陷在文昌组沉积时期形成了统一的洼陷, 因而笔者尝试将西江 36 洼与番禺 4 洼作为一个整体开展文昌组层序地层及沉积体系研究, 通过对比两个洼陷文昌期各三级层序的烃源条件, 来预测西江 36 洼烃源潜力。

本次研究在沉积学、层序地层学及地震沉积学理论的指导下, 充分利用西江 36 洼与番禺 4 洼钻遇文昌组的井岩心、测录井、分析化验资料以及覆盖全区三维地震资料, 建立研究区文昌组三级层序地层格架, 确定各三级层序主要相带类型及展布特征, 在此基础上对比两个洼陷不同时期半深湖—深湖相规模及物源输入量发育情况, 推测西江 36 洼文昌组烃源潜力, 以期为下一步勘探部署提供依据。

## 1 区域地质背景

珠江口盆地处于南海北部陆缘中部, 是中生代末期以来在伸展断陷基础上发育的被动大陆边缘盆地, 呈 NE-NEE 向展布。盆地经历了 3 个构造演化阶段: 古新世—始新世的裂陷阶段、渐新世—中中新世的拗陷阶段和中中新世以后的块断升降阶段<sup>[6]</sup>, 自下而上依次发育古新统(神狐组)、中始新统(文昌组)、上始新统(恩平组)、渐新统(珠海组)、中新统(珠江组)、中中新统(韩江组)、上中新统(粤海组)和上新统(万山组)。盆地由“三隆三坳”组成, 自北向南包括北部隆起带、北部坳陷带、中央隆起带、中部坳陷带、南部隆起带和南部坳陷带, 在平面上形成了“南北分带、东西分块”的构造格局<sup>[7-10]</sup>。珠一坳陷位于珠江口盆地北部坳陷带, 走

向为 NE 向, 大致与海岸线平行, 其内发育的北西向低凸起及北东向断裂体系共同控制了内部具有东西分块构造特征的凹陷分布格局。凹陷分布自西向东依次为恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷、陆丰凹陷和韩江凹陷(图 1a)。

本次研究的西江 36 洼与番禺 4 洼位于珠一坳陷西江凹陷南部, 西靠恩西低凸起, 东侧以惠西低凸起分界, 南接番禺低凸起及东沙隆起, 北侧与西江主洼相邻, 整体是个东南断西北超、呈北东(或北东东)走向复式箕状洼陷, 研究区内正断层广泛分布, 以北东(或北东东)向边界主干断裂为主, 同时后期发育的北西(或北西西)向断裂体系共同控制了其隆洼相间的构造格局。由于盆地发育时期一直受构造活动影响强烈, 文昌组内部也经历多次构造及火山活动, 遭受过地层出露剥蚀。西江 36 洼与番禺 4 洼研究区主要包括西江 36 东次洼、西江 36 西次洼、番禺 4 北次洼、番禺 4 南次洼、番禺 4 西次洼、番禺 4 西北次洼等次级构造单元(图 1b)。研究区目的层为文昌组, 由于该区域不发育神狐组, 文昌组沉积在前古近系基底之上。

## 2 层序地层格架及充填特征

### 2.1 层序地层划分方案

笔者在综合研究地震、岩心及测录井等资料的基础上, 通过井震标定, 结合前人研究成果, 对西江 36 洼与番禺 4 洼开展了层序地层划分对比。研究表明文昌组整体是一个二级层序, 进一步可分为两个准二级层序(上文昌、下文昌), 及划分出 6 个三级层序, 自下而上依次为文六段至文一段, 对应界面自下而上依次为 Tg 至 T80(图 2), 其中底、顶界面 Tg、T80 为二级层序界面, 分别响应于珠琼运动一幕、珠琼运动二幕构造事件; T83 为准二级层序界面, 响应于惠州运动<sup>[11]</sup>, 其他为三级层序界面。文昌组对应裂陷 I 幕沉积<sup>[6]</sup>, 包含裂陷初始期、裂陷扩展期、裂陷强烈期、裂陷转换期、裂陷收缩期、裂陷萎缩期的沉积充填演化过程<sup>[12]</sup>, 同时又由 T83 界面分为下文昌、上文昌两个准二级层序, 分别对应

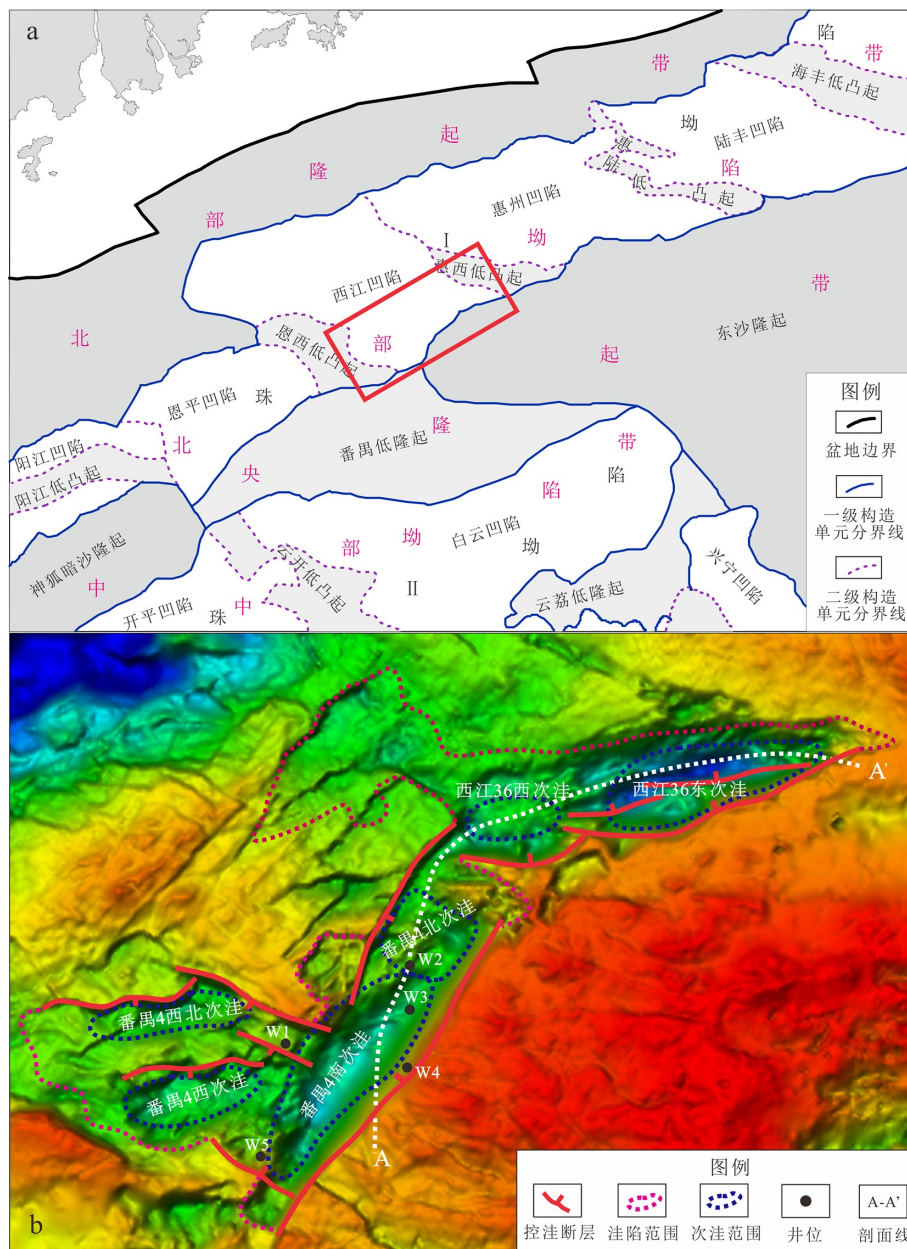


图1 珠江口盆地<sup>[6]</sup> (a) 和西江凹陷南部 (b) 构造单元划分

Fig.1 Tectonic units of the Pearl River Mouth Basin<sup>[6]</sup> (a) and southern Xijiang depression (b)

裂隙 I<sub>A</sub> 幕和裂隙 I<sub>B</sub> 幕。其中西江 36 洼发育文六段、文五段、文四段、文三段、文二段，番禺 4 洼发育文五段、文四段、文三段、文二段、文一段，层序格架方案见图 2。

## 2.2 层序界面的识别

### 2.2.1 层序界面的地震反射特征

#### (1) 构造层序界面

西江 36 洼和番禺 4 洼文昌组底、顶界面为二级层序界面，对应于地震反射界面 T<sub>g</sub>、T<sub>80</sub>。T<sub>g</sub> 为基底和古近系分界面，由珠琼一幕构造运动产生的不整合界面。界面上下地层反射特征及断裂发育

特征存在明显的差异。T<sub>g</sub> 界面之下主要为中生界花岗岩杂乱空白反射；T<sub>g</sub> 界面之上主要表现为水平或楔状充填反射，普遍可见上超或远端上超反射，为典型的文昌组裂隙期沉积特征，与基底以下地层有着显著差异(图 3)。

T<sub>80</sub> 界面是文昌组顶界面，为珠琼二幕构造运动产生的不整合界面。T<sub>80</sub> 界面主要表现为典型的“上超下削”特征，地震上表现为中—强振幅高连续反射，表现为两种界面特征，削截不整合面、上超不整合面，在洼陷内可见明显的削截或不整合。区域削截特征主要分布在番禺 4 北次洼、番禺 4 南次洼、番禺 4 西次洼，上超分布在番禺 4 南次洼、番

地层	地震界面	三级层序			基准面旋回	构造演化
		整个地区	西江36洼	番禺4洼		
始新统	T80	文一段	缺失	文一段		珠琼二幕 裂隙 I <sub>B</sub> 幕
	T81	文二段	文二段	文二段		
	T82	文三段	文三段	文三段		裂隙 I 幕 裂隙 I <sub>A</sub> 幕
	T83	文四段	文四段	文四段		
	T84	文五段	文五段	文五段		
	T85	文六段	文六段	缺失		珠琼一幕
	T <sub>g</sub>					

图 2 西江 36 洼与番禺 4 洼文昌组层序地层格架<sup>[11]</sup>

Fig.2 Paleogene sequence stratigraphic framework in Xijiang 36 sag and Panyu 4 sag<sup>[11]</sup>

禺 4 西次洼、番禺 4 西北次洼、西江 36 西次洼、西江 36 东次洼等地区。此外, 部分区域 T80 界面上下表现为明显的地震振幅差异(图 3)。

T83 为上、下文昌组转换面, 对应于文四段顶界面, 是文昌组内部准二级层序界面, 为惠州运动产生的不整合面<sup>[11]</sup>。由于该时期构造动力的转变, 导致断裂活动、沉降作用等发生变化, 进而引起湖盆水体变化、沉积充填转变和层序迁移, 该界面在研究区各次洼可识别追踪。地震剖面上该界面表现为较高连续、强振幅反射, 界面之上可见上超, 受隆起影响, 洼陷边缘之下可见削截反射, 界面上下地震相差异明显, 地层倾角也发生改变, 同时界面上下沉积中心从东北向西南方向迁移(图 3-4)。

(2) 三级层序界面

西江 36 洼和番禺 4 洼文昌组三级层序界面包括 T85、T84、T82、T81 等 4 个界面, 主要由湖平面变化以及与之伴生的沉积物供应速率变化造成的, 三级层序界面在井震结合基础上依据上超反射终止方式、地震相及产状差异识别<sup>[13-17]</sup>(图 3)。

T85 对应于文六段顶界面, 该界面从陡坡带向缓坡带上超反射, 仅发育在西江 36 洼, T84 界面对应于文五段顶界面, 界面之上可见从陡坡带向缓坡带上超反射, 界面上下地震相特征差异明显, 界面之下为弱振幅, 界面之上见一套强振幅地质体; T82 界面相当于文三段顶界面, 形成于弱断陷时期, 地震相表现为中—强振幅、中—高连续不整合面,

主要界面之上可见上超现象。T81 不整合面相当于文二段顶界面, 该时期洼陷断层活动基本停止, 洼陷整体填平补齐。地震界面为中—高连续、中—低振幅地震反射, 界面之上可见上超, 分布局限, 仅在南次洼、西次洼、西北次洼孤立存在。

2.2.2 层序界面的钻井反射特征

研究区内有 5 口探井钻遇到文昌组, 其中 4 口井钻遇 T<sub>g</sub> 界面, 未有井钻遇 T85 界面, 1 口井钻遇 T84 界面, 4 口井钻遇 T83 界面, 3 口井钻遇 T82 界面, 1 口井钻遇 T81 界面, 5 口井钻遇 T80 界面, T<sub>g</sub> 界面为火成岩及沉积岩的分界面。T80 界面上下岩性差异明显, 为泥岩、砂岩分界面, GR、DT 界面上下基值变化明显, T80 之上测井曲线为箱型、之下为齿化线型; 同时古生物分析化验表明, T80 之下可见代表湖相的浮游藻类, 以及丰富的反映优质烃源无定型有机质。在测井曲线上, 为正、反旋回转换面, 位于一套砂岩顶部、泥岩底部, 反映了基准面短暂下降到大幅升高的沉积过程。T84 界面, 测井曲线上为正反旋回分界面, 界面之下多为粉砂质泥岩、粉砂岩、泥岩等较细岩性组成的反旋回, 向上呈现岩性变细的正旋回, 反映水体开始加深; T82 界面测井曲线为正反旋回分界面, 之下为泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩等较细岩性组成的反旋回, 之上为细砂岩、泥岩等岩性向上颗粒变粗正旋回。T81 界面测井曲线为反旋回顶部, 界面上下岩性变化不大, 皆为泥岩(图 3)。

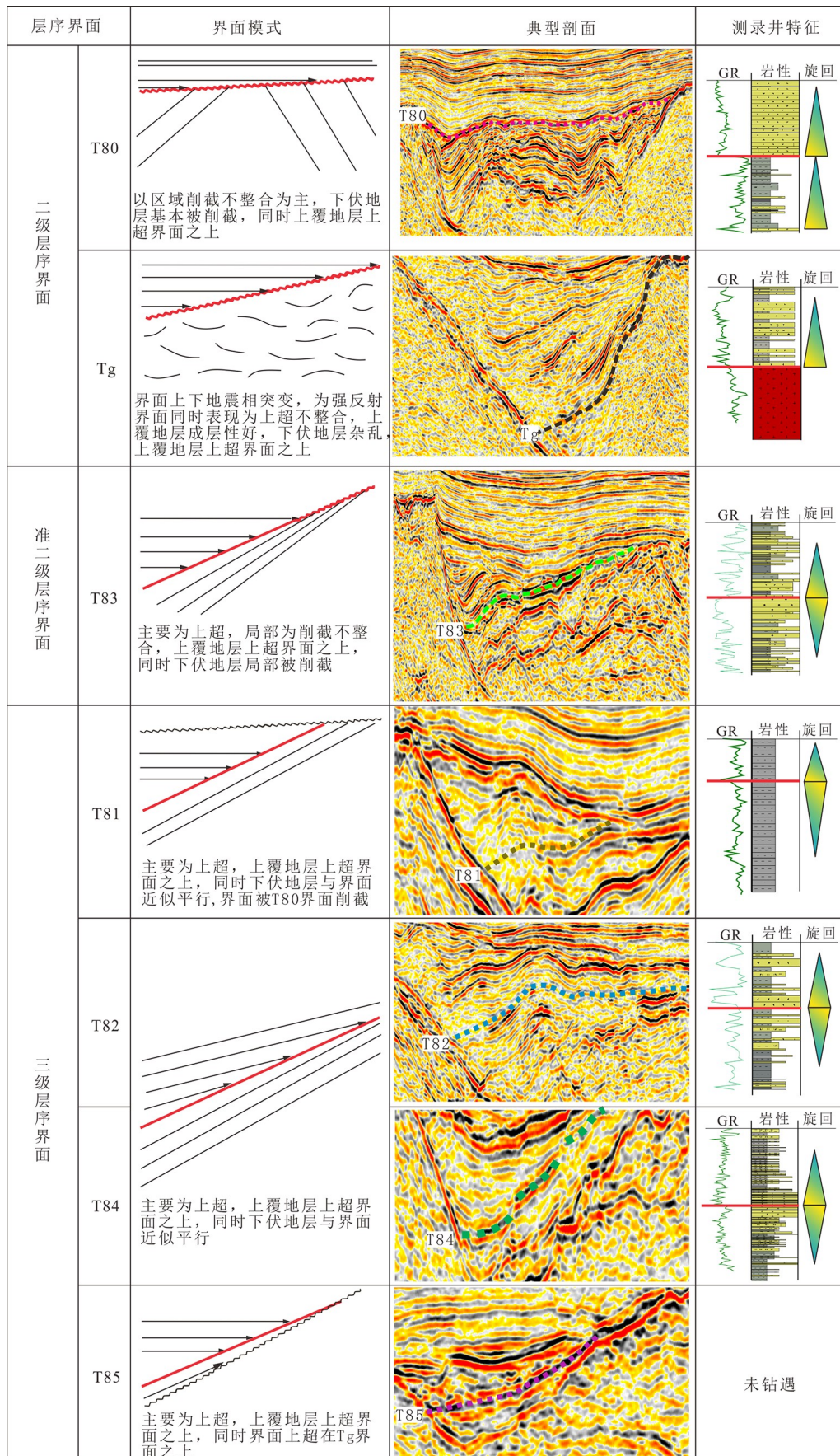


图3 各级层序界面地震反射特征及识别标志

Fig.3 Seismic reflection characteristics and identification of various sequence interfaces

### 2.3 层序充填特征

番禺 4 洼—西江 36 洼文昌期处于断陷湖盆发育时期, 其各三级层序沉积体系均以湖相沉积为特征, 但各层序的充填序列特征受湖盆演化的阶段性控制。番禺 4 洼文昌期发育时期一直受构造活动影响强烈, 文昌组内部遭受多期次的地层出露剥蚀, 致使现今存在的各层序基本为残留地层, 缓坡带地层剥蚀较深洼带强烈。西江 36 洼整体上为继承性发育, 火山活动不明显。通过构造控边断裂、洼陷结构特征及典型层序界面识别综合分析, 认为番禺 4 洼与西江 36 洼之间存在一定的先后发育次序。其中, 西江 36 洼发育文昌期第一个三级层序文六段, 其界面特征相对清晰, 沉积范围主要局限于控边断裂周缘, 沉积范围较小, 这个时期番禺 4 洼还未开始充填; 从文五段至文二段, 西江 36 洼及番禺 4 洼皆有发育, 不同时期厚度有差异, 在文五段至文四段, 西江 36 洼沉积更厚, 文三段至文二

段, 番禺 4 洼整体沉积更厚(图 4); 同时西江 36 洼先消失, 不发育文一段, 这个时期番禺 4 洼仍有沉积充填, 因此, 西江 36 洼与番禺 4 洼存在一定的构造-沉积迁移(图 5)。

同时番禺 4 洼的西次洼及西北次洼的层序发育特征也有着相似规律。西次洼主要发育文五段至文一段共 5 个三级层序, 而西北次洼则主要发育文四段至文一段等 4 个三级层序, 但从其三级层序发育的厚度来看, 同样存在从西次洼向西北次洼迁移现象(图 4)。

## 3 沉积相类型和沉积体系展布

### 3.1 沉积相类型

西江 36 洼和番禺 4 洼文昌组处于湖盆断陷期, 通过对岩心、测录井及地震等资料的分析, 研究区共识别出了 4 种沉积相类型: 扇三角洲、辫状河三

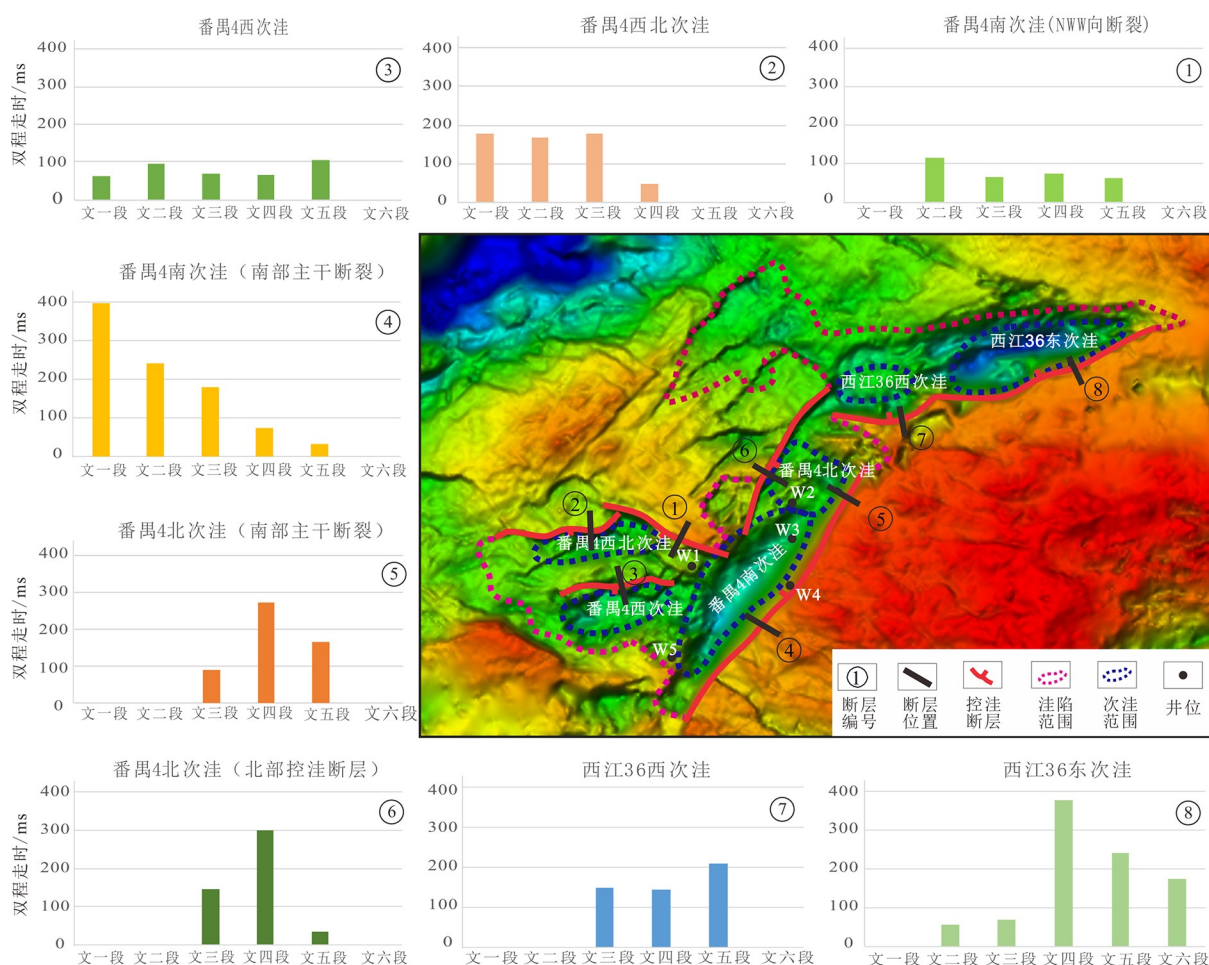


图 4 文昌组控洼断层活动性分析

Fig.4 Analysis on the activity of depression-controlling faults of Wenchang Formation

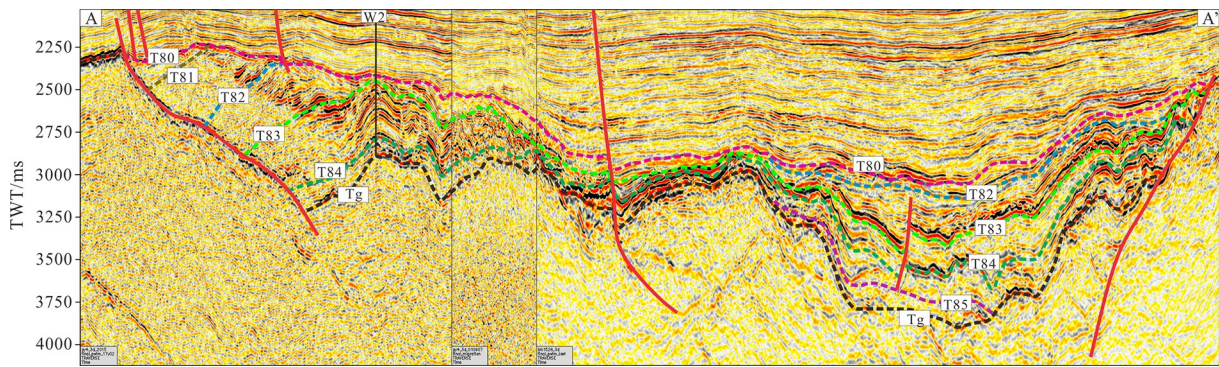


图5 文昌组三级层序地震剖面

Fig.5 Seismic profile showing the third-order sequence of Wenchang Formation

角洲、湖底扇和湖泊沉积。

### 3.1.1 扇三角洲

扇三角洲分布在西江36洼和番禺4洼各次洼沉积陡坡带,扇三角洲在地震剖面上楔形特征明显,内部多呈杂乱充填反射(图6-7),局部区域表现为楔形前积地震相;自然伽马形态表现为高幅高频振荡测井相与箱状高值尖峰测井相。高幅高频振荡测井相代表砂泥互层沉积组合,箱状高值尖峰测井相对应厚层砂砾岩夹薄层泥岩沉积组合。从扇三角洲井壁芯来看,其岩性由砾石层与长石石英中粗砂岩组成,单矿物颗粒成分以石英、长石为主,砾石成分以花岗岩和板岩岩屑颗粒等为主,钙泥质胶结,次棱角—棱角状,分选差。砂砾岩夹薄层泥岩中,除含常绿栎粉外,还含有盘星藻、球藻等淡水藻类<sup>[5]</sup>,表明扇三角洲发育时期气候潮湿,扇三角洲已推进到湖盆较深水区(图6)。

### 3.1.2 辫状河三角洲

辫状河三角洲分布在西江36洼和番禺4洼缓坡带及轴向带。在地震剖面上主要为帚状、叠瓦状或斜交前积反射(图6-7),规模较大的辫状河三角洲复合体分布范围广,其内部显示出多期辫状河三角洲砂体的叠置。从测井曲线形态来看,辫状河三角洲平原亚相以钟形为主,近源部位齿化特征明显,对应辫状水道砂岩向棕褐色泥岩的过渡;辫状河三角洲前缘亚相的测井曲线一般幅度变化较大,以钟形及箱形、漏斗形、指状为主,对应辫状水道砂岩与湖相泥岩互层的沉积组合。根据井壁芯资料,辫状河三角洲砂岩杂基含量比扇三角洲低,属长石质岩屑砂岩、岩屑长石砂岩。砂岩颗粒磨圆度为次圆至次棱状,分选差至中等(图6)。

### 3.1.3 湖底扇

湖底扇主要为滑塌成因<sup>[18-20]</sup>,与陡坡带粗粒物质相伴生,在研究区内发育于扇三角洲前端,处于洼陷中心内。湖底扇在地震剖面上呈透镜体形态,

内部反射杂乱(图6-7)。自然伽马曲线表现为幅度低、振荡频繁、齿化的箱形曲线特征。钻遇典型的湖底扇沉积位于扇三角洲前缘,岩性以细砂岩、粉砂岩为主,层理不发育,多呈块状,有机质含量高,含丰富的浮游藻类<sup>[5]</sup>(图6)。

### 3.1.4 湖泊沉积

研究区文昌期沉积时期主要发育半深湖—深湖相及滨浅湖相沉积,半深湖—深湖相主要邻近各洼陷的控边断裂;滨湖亚相在地震上多表现为中—低连续亚平行反射结构,而半深湖—深湖相主要表现为席状高—中连续平行地震相(图6-7)。滨浅湖相在湖泊扩展的背景下形成向上变细的沉积序列,在湖泊萎缩的背景下多形成向上变粗的沉积序列。发育波纹层理、波纹交错层理,常见层内冲刷面。测井曲线以中低伽马、中高声波时差为特征,测井曲线呈齿化,有机地化特征表现为低C<sub>30-4</sub>-甲基甾烷值和较低的T化合物值。而深湖—半深湖是位于湖泊浪基面之下、湖水较为平静的湖区。其沉积物主要为暗色泥岩,具水平层理和块状层理,有机碳含量较高,且富含浮游藻类<sup>[5]</sup>,有机地化特征表现为高C<sub>30-4</sub>-甲基甾烷值,极低的T化合物值。测井曲线以高伽马、中低声波时差为特征,测井曲线呈微齿化(图6)。

## 3.2 沉积体系展布和演化

西江36洼和番禺4洼文昌组对应裂陷I幕沉积,又由T83界面分为下文昌、上文昌两个准二级层序,分别对应裂陷I<sub>A</sub>幕和裂陷I<sub>B</sub>幕。裂陷I<sub>A</sub>幕包括3个三级层序,自下而上对应于文六段、文五段、文四段,裂陷I<sub>B</sub>幕包括3个层序,自下而上依次为文三段、文二段及文一段。地震相分析表明,陡坡带可识别出楔状杂乱充填地震相和楔状前积地震相,深洼带可识别出席状高—中连续平行地震相以及分布局限的透镜状地震相,斜坡带及轴向



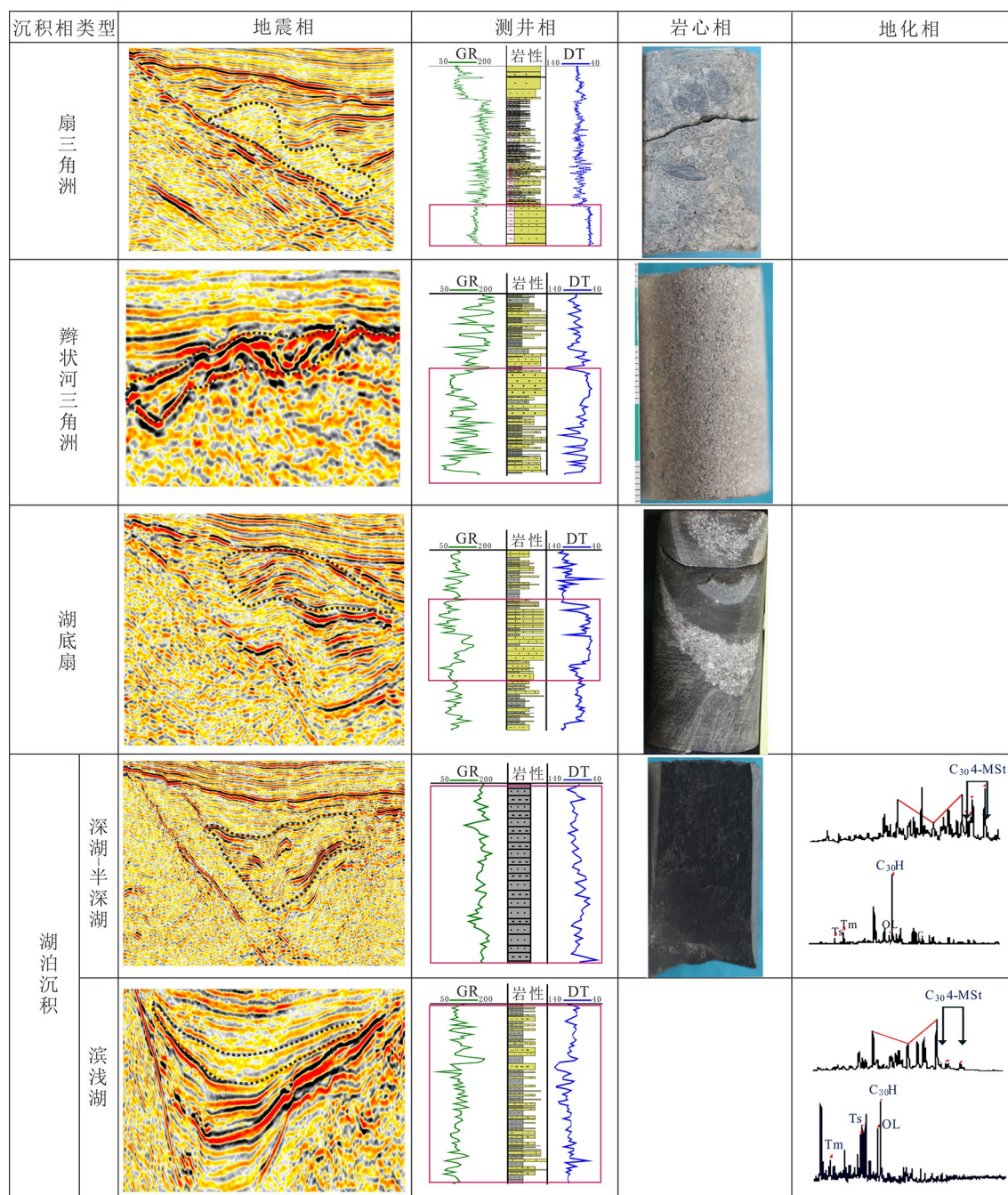


图 6 不同沉积相类型地震相、测录井、岩心、地化特征

Fig.6 Seismic facies, logging, core and geochemical characteristics of different sedimentary facies

带可识别出中—低连续亚平行地震相及前积反射地震相, 根据沉积相类型和 6 个三级层序地震相平面展布特征 (图 7), 结合不同时期的差异构造活动、沉积物供给等条件分析, 6 个三级层序充填特征及沉积相平面展布各不相同。

### 3.2.1 裂陷 I<sub>A</sub> 幕下文昌沉积展布及演化

裂陷 I<sub>A</sub> 幕自下而上包括文六段、文五段、文四段, 该时期研究区构造活动强烈, 断陷加速沉降, 主要发育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇及湖泊沉积等沉积相类型。

文六段时期, 西江 36 洼边界断层首先开始活动, 番禺 4 洼边界断层还不活动 (图 4), 文六段发育在西江 36 洼控洼断层下降盘。该时期西江 36 洼东南部边界断层控洼, 在陡坡带边界断裂附近发育小型扇三角洲, 深洼带主要发育滨浅湖, 缓坡带从西江低凸起到洼陷中心发育辫状河三角洲 (图 8f)。

文五段时期, 西江 36 洼沉降加剧, 番禺 4 洼主干控洼断层开始活动并活动强烈, 番禺 4 洼南次洼、北次洼及西次洼连片发育, 该时期西江 36 洼与番禺 4 洼仍未连通, 单独存在 (图 4)。西江 36 洼及

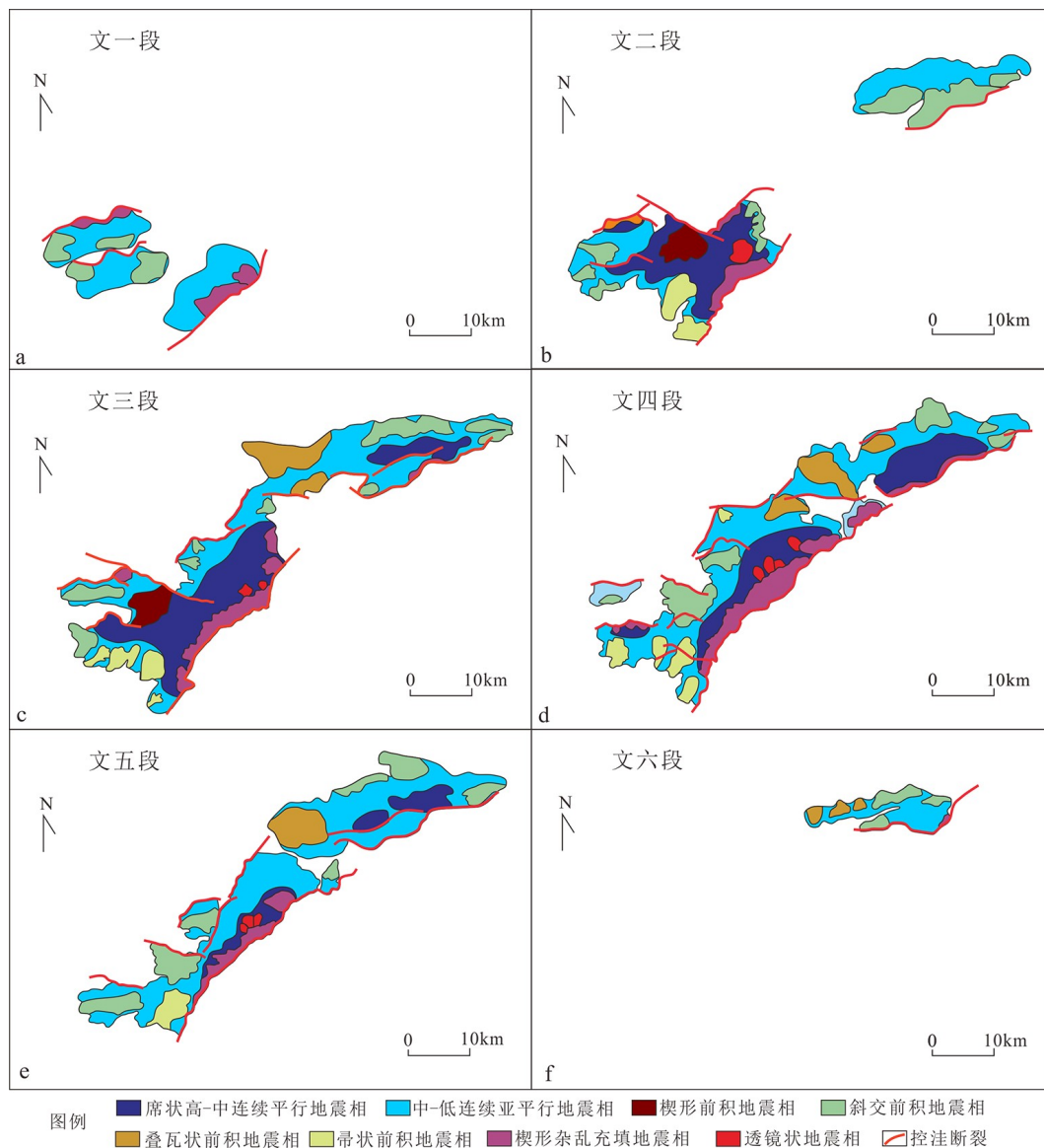


图7 西江36洼与番禺4洼文昌组三级层序地震相分布

Fig.7 Distribution of seismic facies of each three-order sequence of Wenchang Formation in Xijiang 36 sag and Panyu 4 sag

番禺4洼控洼边界断层下降盘发育半深湖—深湖,东沙隆起、西江低凸起及研究区长轴两侧为主要供源,西江36洼与番禺4洼缓坡带及轴向带发育较大规模的辫状河三角洲沉积,同时番禺4洼陡坡带控洼断裂附近发育小规模扇三角洲,在西江36洼及番禺4洼主干控洼断裂附近深洼带发育小范围半深湖—深湖,主要是分布在西江36洼及番禺4洼北次洼,并在番禺4洼半深湖—深湖前端发育舌形湖底扇,滨浅湖较文六段明显扩张(图4e)。

文四段时期,西江36洼及番禺4洼主干控洼断裂活动性最强,水体明显加深,西江36洼与番禺4洼形成统一湖盆,番禺4洼西北次洼也开始出现(图4)。洼陷整体表现为欠补偿环境,相比上个时期,物源方向基本没有变化,但缓坡带稍往物源方向后退,

辫状河三角洲规模有所减小,西江36洼与番禺4洼洼陷内陡坡带扇三角洲规模扩大,连片发育;湖盆范围有所扩大的同时,中-深湖范围明显扩大,特别是西江36洼及番禺4洼北次洼,沉积大套黑灰色泥岩,内部可见舌形湖底扇滑塌体(图4d)。

### 3.2.2 裂陷I<sub>B</sub>幕上文昌组沉积展布及演化

裂陷I<sub>B</sub>幕包括3个三级层序,从下而上依次为文三段、文二段、文一段,这个阶段断裂活动同样强烈,凹陷快速沉降,但沉积中心与沉降中心从西江36洼向番禺4洼迁移,具有从东向西迁移特征。该阶段旋回主要发育的沉积相类型与裂陷I<sub>A</sub>幕相同,但沉积中心、物源方向及规模、相带分布发生明显变化。

文三段时期,两个洼陷在该时期仍为统一湖

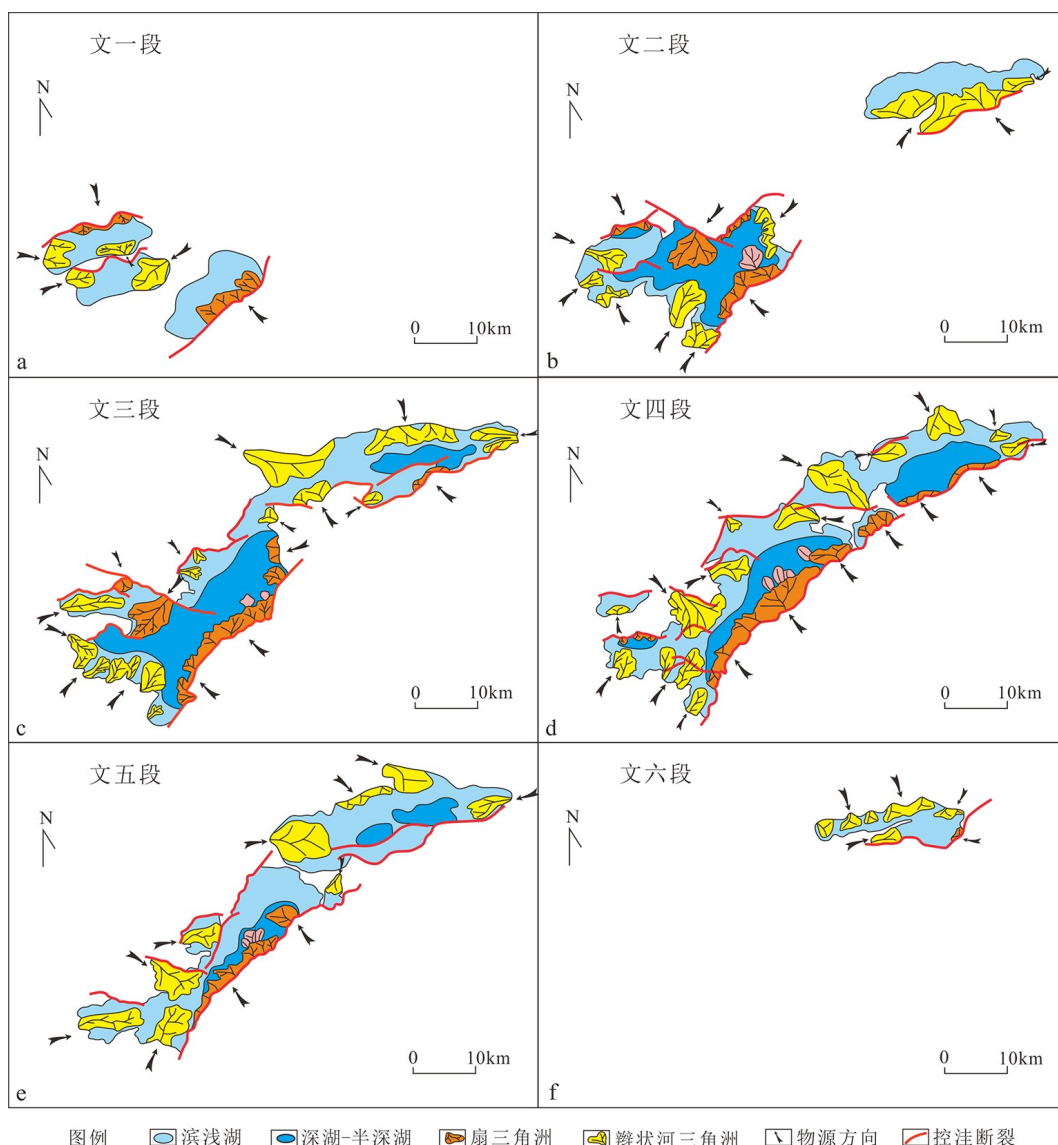


图 8 西江 36 洼与番禺 4 洼文昌组三级层序沉积体系展布

Fig.8 Distribution of three-level sequence sedimentary systems of the Wenchang Formation in Xijiang 36 sag and Panyu 4 sag

盆, 西江 36 洼主干边界断裂活动开始减弱, 西江 36 洼湖盆范围变小, 番禺 4 洼整体沉降活动增强, 周边控洼断裂皆强烈活动, 番禺 4 洼连成一体, 湖盆范围有所扩大(图 4)。西江 36 洼物源方向基本没变化, 但缓坡带、轴向带物源向洼陷中心前进, 规模扩大; 番禺 4 洼缓坡带及轴向带物源后退, 辫状河三角洲规模减小, 主要发育陡坡带扇三角洲。西江 36 洼半深湖—深湖范围相比上个层序减小, 番禺 4 洼受四周控洼断层强烈活动影响, 半深湖—深湖范围明显扩大(图 8c)。

文二段时期, 受西江 36 洼主干边界断裂活动减弱与番禺 4 洼边界断裂活动向西部迁移影响, 西江 36 洼与番禺 4 洼不再是统一湖盆, 而是分割为两个独立洼陷(图 4)。西江 36 洼主干边界断裂活动基

本不活动, 开始萎缩; 番禺 4 洼控洼断裂在南次洼、西次洼及西北次洼活动, 湖盆范围减小。西江 36 洼陡坡带轴向带控洼断裂处出现构造转换带, 在陡坡带位置发育从西向东的辫状河三角洲, 缓坡带辫状河三角洲不发育; 番禺 4 洼物源方向继承上个时期, 规模基本不变, 为小型轴向带辫状河三角洲及陡坡带扇三角洲。西江 36 洼深洼带发育滨浅湖, 番禺 4 洼由于控洼断裂仍在强烈活动, 南次洼、西次洼及西北次洼半深湖—深湖仍较发育, 在半深湖—深湖泥岩内存在舌形湖底扇滑塌体(图 8b)。

文一段时期, 西江 36 洼已经消失, 番禺 4 洼控洼断裂活动性减弱, 洼陷范围减小(图 4), 受后期构造抬升影响发生剥蚀, 湖盆残留区陡坡带发育扇三角洲, 轴向带发育辫状河三角洲, 深洼带主要发育

滨浅湖沉积(图8a)。

#### 4 西江36洼生烃潜力

番禺4洼为“小而肥”富烃洼陷<sup>[1-3]</sup>,而西江36洼却未有商业发现,导致勘探上对西江36洼烃源潜力有所顾虑。通过对不同三级层序时期沉积体系展布研究,西江36洼半深湖—深湖相在文五段至文三段持续发育,继承性发育在NE向边界控洼断裂下降盘附近,并且在下文昌文四段发育面积最大,由西江36洼供源的砂岩提取烃中发现了较为丰富的C<sub>30-4</sub>-甲基甾烷,证实了半深湖—深湖相优质烃源岩的存在。传统上洼陷烃源岩潜力评价主要是从有机质生产力、保存条件来开展,然而由于西江36洼未钻遇烃源岩,因而这套方法不适用于该洼陷的生烃潜力评价。

目前近海盆地低勘探程度洼陷的生烃潜力评价主要是利用代表优质烃源岩的半深湖—深湖相发育规模来开展<sup>[21]</sup>,同时笔者通过调研文献认识到半深湖—深湖相有机质的丰度也受到泥岩纯度的影响<sup>[22]</sup>。本次评价过程中半深湖—深湖相规模用半深湖—深湖面积乘以平均厚度计算,泥岩纯度与物源输入程度有关,物源输入量越大,泥岩纯度越低<sup>[22]</sup>,泥岩纯度用半深湖—深湖周边的物源供给面积乘以平均厚度结果的倒数近似表示。因而西江36洼生烃潜力用半深湖—深湖规模与物源输入量的除值来表征(表1),为了更形象地反映西江36洼生烃潜力,与番禺4洼不同三级层序生烃潜力值进行对比。

文六段时期,西江36洼不发育半深湖—深湖

相,烃源岩相带为滨浅湖,番禺4洼还未形成,该时期皆不发育半深湖—深湖相烃源岩,条件一致;文五段时期,面积基本一致,平均厚度更大的情况下,西江36洼半深湖—深湖周边物源供给量更小,西江36洼半深湖—深湖相优质烃源潜力总体好一些;文四段西江36洼与番禺4洼半深湖—深湖皆发育,西江36洼半深湖—深湖相面积为番禺4洼的2/3,但平均厚度更大,同时半深湖—深湖周边物源供给量更小,总的来说该时期西江36洼半深湖—深湖相优质烃源潜力稍微差一些,因而结合文六段至文四段综合情况,下文昌时期两个洼陷的半深湖—深湖相优质烃源岩发育情况基本一致。文三段至文一段,番禺4洼半深湖—深湖相优质烃源岩持续发育,规模较西江36洼大很多,番禺4洼周边物源规模较西江36洼小,因而上文昌时期番禺4洼半深湖—深湖相优质烃源岩条件明显较西江36洼更好。

综合以上分析,番禺4洼文昌组半深湖—深湖相优质烃源岩条件明显比西江36洼更好,同时可以发现在下文昌时期,两个洼陷的半深湖—深湖相优质烃源潜力值基本相同,反映出这个洼陷半深湖—深湖相优质烃源岩发育情况基本一致。根据番禺4洼已探明原油油源分析,半数以上储量来自于下文昌时期半深湖—深湖相烃源岩供烃,因而推测西江36洼下文昌烃源岩也有良好生烃潜力。

#### 5 结论

(1)西江凹陷南部西江36洼和番禺4洼文昌组作为一个整体可划分为6个三级层序,并且层序发

表1 西江36洼与番禺4洼烃源岩条件对比

Table 1 Comparison of source rock conditions between Xijiang 36 sag and Panyu 4 sag

层序	西江36洼					番禺4洼					
	中深湖规模		物源供给量		生烃 潜力值	中深湖规模		物源供给量		生烃 潜力值	
	面积 /km <sup>2</sup>	平均 厚度/m	面积 /km <sup>2</sup>	平均 厚度/m		面积 /km <sup>2</sup>	平均 厚度/m	面积 /km <sup>2</sup>	平均 厚度/m		
文一段	0	0	—	—	0	0	0	—	—	0	
上文昌	文二段	0	0	—	—	0	180	400	150	250	1.92
文三段	42	450	60	125	2.52	300	600	147	200	6.12	
文四段	83	650	80	110	6.13	132	600	110	100	7.2	
下文昌	文五段	45	500	70	120	2.68	50	350	80	120	1.82
文六段	0	0	—	—	0	0	0	—	—	0	

注:生烃潜力值=(中深湖面积×中深湖平均厚度)/(物源面积×物源平均厚度)。

育过程表现为从西江36洼向番禺4洼迁移的特征,西江36洼先形成也先消失,西江36洼发育文六段至文二段等5个三级层序,番禺4洼发育文五段至文一段等5个三级层序。

(2)西江36洼和番禺4洼文昌组发育扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇及湖泊沉积等沉积相类型,垂向上沉积相带具有旋回特征,从初始裂陷到强烈裂陷再到裂陷萎缩,边界断层先变强再变弱,边界主控断层下降盘扇三角洲先变大再变小,缓坡带及轴向带辫状河三角洲先减小后增大,湖盆及半深湖—深湖相规模先增大后减小。横向上沉积相带也具有迁移特征,表现为文六段时期先在西江36洼开始沉积,文五段开始再扩展到番禺4洼,同时文一段时期西江36洼湖盆已经消失,只在番禺4洼有沉积。

(3)通过对比西江36洼与番禺4洼文昌期各三级层序半深湖—深湖相规模及其物源供给量情况,下文昌期西江36洼与番禺4洼烃源潜力基本一致,由于番禺4洼目前半数以上探明原油为下文昌烃源岩提供,因此推测西江36洼下文昌烃源岩具备良好生烃潜力。

### 参考文献 (References)

- [1] 朱筱敏,黄捍东,代一丁,等.珠江口盆地番禺4洼文昌组层序格架与沉积体系研究[J].*岩性油气藏*,2014,26(4):1-8.[ZHU Xiaomin, HUANG Handong, DAI Yiding, et al. Study on depositional system and sequence framework of Wenchang Formation in Panyu 4 sag of the Pearl River Mouth Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2014, 26(4): 1-8.]
- [2] 张向涛,朱俊章,熊万林,等.番禺4洼文昌组烃源岩生物标志化合物特征与油源判识[J].*中国海上油气*,2020,32(4):12-23.[ZHANG Xiangtao, ZHU Junzhang, XIONG Wanlin, et al. Biomarker characteristics and oil-source discrimination of source rocks in Wenchang Formation of Panyu 4 sag [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(4): 12-23.]
- [3] 代一丁.珠江口盆地西江南洼古近系构造演化与沉积特征[J].*中国海上油气*,2013,25(3):1-7.[DAI Yiding. Paleogene tectonic evolution and sedimentation in South Xijiang Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(3): 1-7.]
- [4] 江宁,全志臻,张向涛,等.珠江口盆地番禺4洼古近系层序地层及储层分布预测[J].*天然气勘探与开发*,2015,38(4):23-27.[JIANG Ning, QUAN Zhizhen, ZHANG Xiangtao, et al. Paleogene sequence stratigraphy and reservoir distribution, Panyu 4 Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2015, 38(4): 23-27.]
- [5] 吴宇翔,舒誉,丁琳,等.珠江口盆地番禺4洼文昌组基于层序地层格架约束下的优质烃源岩预测[J].*海洋地质前沿*,2021,37(3):41-49.[WU Yuxiang, SHU Yu, DING Lin, et al. Prediction of high quality source rocks based on sequence stratigraphic framework of Wenchang Formation, Panyu 4 sag, the Pearl River Mouth Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(3): 41-49.]
- [6] 张丽丽,舒誉,蔡国富,等.珠江口盆地东部始新世渐新世沉积环境演变及对烃源条件的影响[J].*石油学报*,2019,40(S1):153-165.[ZHANG Lili, SHU Yu, CAI Guofu, et al. Eocene-Oligocene sedimentary environment evolution and its impact on hydrocarbon source conditions in eastern Pearl River Mouth basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2019, 40(S1): 153-165.]
- [7] 施和生,何敏,张丽丽,等.珠江口盆地(东部)油气地质特征、成藏规律及下一步勘探策略[J].*中国海上油气*,2014,26(3):11-22.[SHI Hesheng, HE Min, ZHANG Lili, et al. Hydrocarbon Geology, accumulation pattern and the next exploration Strategy in there eastern Pearl River Mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2014, 26(3): 11-22.]
- [8] 舒誉,施和生,杜家元,等.珠一坳陷古近系油气成藏特征及勘探方向[J].*中国海上油气*,2014,26(3):37-42.[SHU Yu, SHI Hesheng, DU Jiayuan, et al. Paleogene characteristics in hydrocarbon accumulation and exploration direction in Zhu I depression [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2014, 26(3): 37-42.]
- [9] 施和生,舒誉,杜家元,等.珠江口盆地古近系石油地质[M].北京:地质出版社,2017:1-4.[SHI Hesheng, SHU Yu, DU Jiayuan, et al. Petroleum Geology of the Paleogene in the Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: China Geology Press, 2017: 1-4.]
- [10] 陈长民.珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探[J].*中国海上油气(地质)*,2000,14(2):73-83.[CHEN Changmin. Petroleum geology and conditions for hydrocarbon accumulation in the eastern Pearl River mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2000, 14(2): 73-83.]
- [11] 米立军,张向涛,陈维涛,等.珠江口盆地珠一坳陷古近系油气富集规律及下一步勘探策略[J].*中国海上油气*,2018,30(6):1-13.[MI Lijun, ZHANG Xiangtao, CHEN Weitao, et al. Hydrocarbon enrichment law of Paleogene Zhu I depression and its next exploration strategy in Pearl River Mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(6): 1-13.]
- [12] 施和生,杜家元,梅廉夫,等.珠江口盆地惠州运动及其意义[J].*石油勘探与开发*,2020,47(3):447-461.[SHI Hesheng, DU Jiayuan, MEI Lianfu, et al. Huizhou Movement and its significance in Pearl River Mouth Basin, China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(3): 447-461.]
- [13] Vail P R, Mitchum P M. Seismic stratigraphic and global changes in sea level. Parts I - II [J]. *AAPG Memoir*, 1977, 26: 51-212.
- [14] Mitchum P M, Sangree J B, Vail P R, et al. Recognizing sequences and systems tracts from well logs, seismic data, and biostratigraphy: Examples from the late Cenozoic of the Gulf of Mexico [M]//Weimer P, Posamentier H. Siliciclastic Sequence Stratigraphy: Recent Developments and Applications. California: American Association of Petroleum Geologists, 1993: 163-199.
- [15] Mitchum R M, Van Wagoner J C. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles [J]. *Sedimentary Geology*, 1991, 70(2-4): 131-160.

- [16] 王英民. 对层序地层学工业化应用中层序分级混乱问题的探讨[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(1): 9-15. [WANG Yingmin. Analysis of the mess in sequence hierarchy applied in the industrialized application of the sequence stratigraphy [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(1): 9-15.]
- [17] 卓海腾, 王英民, 徐强, 等. 南海北部陆坡分类及成因分析[J]. *地质学报*, 2014, 88(3): 327-336. [ZHUO Haiteng, WANG Yingmin, XU Qiang, et al. Classification and genesis of continental slopes on the northern South CHINA Sea [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(3): 327-336.]
- [18] 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素: 以济阳坳陷东营凹陷为例[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(1): 39-45. [YU Xinghe, JIANG Hui, LI Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in eastern China: A case study of Dongying Sag of Jiyang Depression [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(1): 39-45.]
- [19] 冯有良. 大民屯凹陷沙四段—沙三段层序地层格架及岩性油气藏预测[J]. *岩性油气藏*, 2008, 20(4): 14-19. [FENG Youliang. Sequence stratigraphy framework and lithologic reservoirs prediction of the third and fourth members of Shahejie Formation, Damintun Depression [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2008, 20(4): 14-19.]
- [20] 吴嘉鹏, 王英民, 马贵明, 等. 孟加拉扇某区块地层序划分及典型地震相识别[J]. *岩性油气藏*, 2010, 22(2): 69-73. [WU Jiapeng, WANG Yingmin, MA Guiming, et al. Sequence stratigraphy and typical seismic facies in one exploration block of Bengal Fan [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2010, 22(2): 69-73.]
- [21] 张功成, 梁建设, 徐建永, 等. 中国近海潜在富烃凹陷评价方法与烃源岩识别[J]. *中国海上油气*, 2013, 25(1): 13-19. [ZHANG Gongcheng, LIANG Jianshe, XU Jianyong, et al. An evaluation method of potential hydrocarbon-rich sags and their source rock identification offshore China [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(1): 13-19.]
- [22] 郭来源. 陆相断陷湖盆富有机质页岩非均质性及其控制因素分析: 以泌阳和沾化凹陷为例[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2017 [GUO Laiyuan. Heterogeneity and controlling factors of organic-rich shale in continental rift basin: a case study of Biyang and Zhanhua depressions [D]. Doctor Dissertation of China University of Geosciences, 2017.]