

文章编号:1673-5005(2021)01-0012-11 doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2021.01.002

# 珠江口盆地番禺4洼珠江组层序地层及其约束下砂体发育模式

戴宗<sup>1</sup>, 张青青<sup>2,3</sup>, 衡立群<sup>1</sup>, 孙润平<sup>1</sup>, 刘可禹<sup>2,3</sup>,  
王健<sup>2,3</sup>, 罗东红<sup>1</sup>, 王亚会<sup>1</sup>

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广东深圳 518054; 2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 3. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛 266071)

**摘要:**根据钻井资料及地震资料,对番禺4洼珠江组层序地层进行研究,明确砂体发育特征与层序地层的关系,进一步分析二级层序不同演化阶段海平面变化、物源供给、构造沉降要素对砂体发育的影响,并建立二级层序控制要素作用下砂体发育模式。结果表明:研究区珠江组可划分为1个二级层序,5个三级层序,各三级层序均只发育海侵体系域和高位体系域;不同三级层序的结构特征存在差异,其中三级层序SQ1和SQ2海侵体系域和高位体系域均较为发育,而三级层序SQ3~SQ5以高位体系域为主;砂体发育特征与二级层序基准面演化及三级层序结构密切相关,二级层序基准面上升半旋回,砂岩含量整体有降低趋势,单层砂岩厚度减小;二级层序基准面下降半旋回,砂岩含量整体有增大趋势,晚期单层砂岩厚度明显增大;三级层序SQ3~SQ5砂体主要发育在高位域;全球三级海平面升降旋回控制研究区三级层序的发育及结构类型,进一步控制不同结构三级层序的砂体发育规律;物源与二级相对海平面共同控制二级层序内砂体的垂向叠置样式和平面演化。

**关键词:**层序界面;层序结构;海平面;物源;砂体发育模式;珠江组

**中图分类号:**P 539.2 **文献标志码:**A

**引用格式:**戴宗,张青青,衡立群,等.珠江口盆地番禺4洼珠江组层序地层及其约束下砂体发育模式[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(1):12-22.

DAI Zong, ZHANG Qingqing, HENG Liqun, et al. Sequence stratigraphy and sand body development model of Zhujiang Formation in Panyu 4 Subsag, Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2021, 45(1): 12-22.

## Sequence stratigraphy and sand body development model of Zhujiang Formation in Panyu 4 Subsag, Pearl River Mouth Basin

DAI Zong<sup>1</sup>, ZHANG Qingqing<sup>2,3</sup>, HENG Liqun<sup>1</sup>, SUN Runping<sup>1</sup>,  
LIU Keyu<sup>2,3</sup>, WANG Jian<sup>2,3</sup>, LUO Donghong<sup>1</sup>, WANG Yahui<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Shenzhen Branch of CNOOC Limited, Shenzhen 518054, China;

2. School of Geosciences in China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

3. Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Based on drilling, well log and seismic data, the sequence stratigraphy of Zhujiang Formation was studied, and the relationship between sequence stratigraphy and sand body development was analyzed. Further analysis about the controlling factors including eustatic sea-level changes, sediment supply and tectonic subsidence on the sand body development was conducted. A sand body development response model on controlling factors under the constraint of the second-order sequence

收稿日期:2020-10-08

基金项目:中国海洋石油总公司“十三五”科技重大项目(CNOOC-KJ 135 ZDXM 22 LTD 02 SZ 2016)

第一作者:戴宗(1975-),男,高级工程师,硕士,研究方向为油气田开发和油田地质。E-mail: daizong@cnooc.com.cn。

通信作者:张青青(1991-),女,博士研究生,研究方向为沉积学和储层地质学。E-mail: qqzhupe108@163.com。

was established. One second-order sequence and five third-order sequences are present within Zhujiang Formation in the study area, with only transgressive system tracts (TST) and highstand system tracts (HST) developed in the third-order sequences. However, the architectural characteristics of different third-order sequences vary, that is, both transgressive system tracts and highstand system tracts are well developed in the third-order sequences including SQ1 and SQ2, and the third-order sequences (SQ3~SQ5) are dominated by highstand system tracts. The vertical stacking characteristics of sand bodies are closely related to datum evolution of the second-order sequence and sequence architecture of the third-order sequence. During the rising semi-cycle of the second-order sequence, the sandstone percentage decreases overall and individual sandstone layers become thinner; however, in falling semi-cycle of the second-order sequence, the sandstone percentage tends to increase, and individual sandstone layers become thicker and thicker in the late stage. Reservoir sand bodies are mainly developed in highstand system tracts of the third-order sequences (SQ3~SQ5). The 3rd-order global sea-level fluctuation cycle controls the development and types of the sequence architectures in the study area, which further controls the sand body development patterns of the third-order sequences. The interplay of sediment supply and the second-order relative sea level change control the evolution of the vertical superposition patterns and planar distribution of sand bodies of the second-order sequence.

**Keywords:** sequence boundary; sequence architecture; sea level; source; sand body development model; Zhujiang Formation

珠江口盆地番禺4洼油气资源丰富,是一个典型的“小而肥”富生烃洼陷<sup>[1-3]</sup>。前期已发现的油气主要分布在珠江组<sup>[2]</sup>,但不同层段的砂体发育特征存在较大差异,因此珠江组储集层发育规律及其预测尤为重要。层序地层研究能够建立等时的地层格架,是寻找有利砂体进行砂体预测的重要手段<sup>[4-5]</sup>。层序及其控制要素对砂体或沉积微相的发育和演化具有重要控制作用<sup>[4,6-8]</sup>。目前研究区层序界面识别标志认识不清,尚未建立综合的等时地层格架,而珠江口盆地各个区块珠江组三级层序划分方案并不统一<sup>[9-12]</sup>,对层序及其控制要素对砂体发育的影响尚缺乏系统的认识。因此笔者在 Vail 层序地层学理论的指导下,综合利用三维地震、测录井资料,对番禺4洼珠江组进行层序地层研究,分析各层序界面和体系域界面特征,明确其识别标志,分析层序结构,建立等时层序地层格架。在此基础上结合砂体发育特征,明确层序地层与砂体发育的关系,进一步分析二级层序不同演化阶段海平面变化、物源供给、构造沉降等要素对砂体发育的影响,以期对海相地层中各层序控制要素对砂体发育的影响有更好的认识,并为该区下一步勘探提供指导。

## 1 区域地质概况

番禺4洼位于珠江口盆地珠I坳陷西部,属于西江凹陷的一部分,面积约为1200 km<sup>2</sup>,其北邻西江主洼及XJ36洼,西部为恩平凹陷,东侧和南侧分别为东沙隆起及番禺低隆起,是一个东南断、西北超,呈NE-SW走向箕状洼陷(图1)<sup>[1-3,13-14]</sup>。

番禺4洼地层发育特征与珠江口盆地总体一

致,具有“下断上坳、先陆后海”的特征<sup>[15]</sup>。自下而上发育文昌组、恩平组、珠海组、珠江组、韩江组、粤海组、万山组及第四系,其中文昌组和恩平组主要发育湖泊相、河流相等,是番禺4洼的主要烃源岩,而储集层主要为珠海组、珠江组和韩江组的优质砂岩,以海陆过渡相、海相沉积为主(图2)<sup>[3,16]</sup>。番禺4洼珠江组为一套连续海侵作用下的三角洲—滨岸沉积体系,储层以三角洲前缘沉积为主,下部少量三角洲平原沉积<sup>[1-2,17]</sup>。

## 2 层序地层

### 2.1 层序界面识别

番禺4洼三维地震资料丰富,可用测井资料有12口,通过对三维地震、测录井资料综合分析,对番禺4洼珠江组层序界面进行识别和追踪。研究区共识别出6个层序界面,分别为SB23.8、SB21、SB18、SB17.5、SB17.1、SB16.5(图2、3),据此将研究区划分为5个三级层序:SQ1、SQ2、SQ3、SQ4和SQ5。其中SB23.8和SB16.5也是二级层序界面,MFS18.5是二级最大海泛面。各层序界面在地震反射结构、测录井资料上具有明显的响应特征(图2~5)。

二级层序界面往往与构造运动相联系,SB23.8是白云运动形成的区域性不整合面<sup>[19-20]</sup>,为新近系和古近系的分界面,该地震反射界面是可在全区进行追踪对比的标志性界面。其地震剖面上表现出高连续强反射特征,在西江凹陷附近界面之下见明显削截现象(图2),研究区该界面之上可见上超特征,代表水域不断扩大时地层逐渐超覆的特征,表现为低角度反射层终止于倾斜的地层

界面上(图3(a))。研究区该界面上下岩性均以砂岩为主,测井曲线呈箱形,自然伽马呈低值(图4)。SB16.5为珠江组和韩江组的分界面,地震剖面上表现出中—高连续中—强反射特征,区域上界面之下可见顶超现象(图2),研究区与其类似,

岩性主要为砂岩夹灰色泥岩沉积,测井曲线呈箱形,自然伽马为低值(图4);区域上界面之上可见上超特征(图2),研究区该界面以上地层接触关系不明显,其岩性主要为灰色泥岩,自然伽马为高值(图4)。

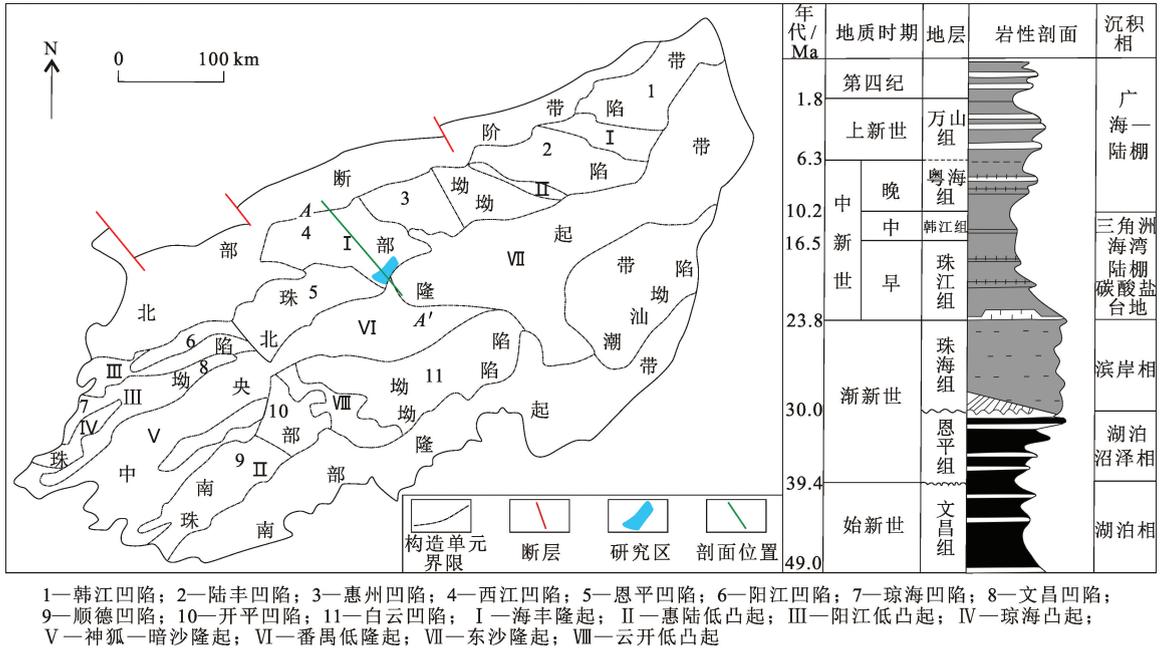


图1 珠江口盆地构造分区及地层结构(据文献[18],有修改)

Fig.1 Tectonic subdivision and stratigraphy of Pearl River Mouth Basin (After citation[18], modified)

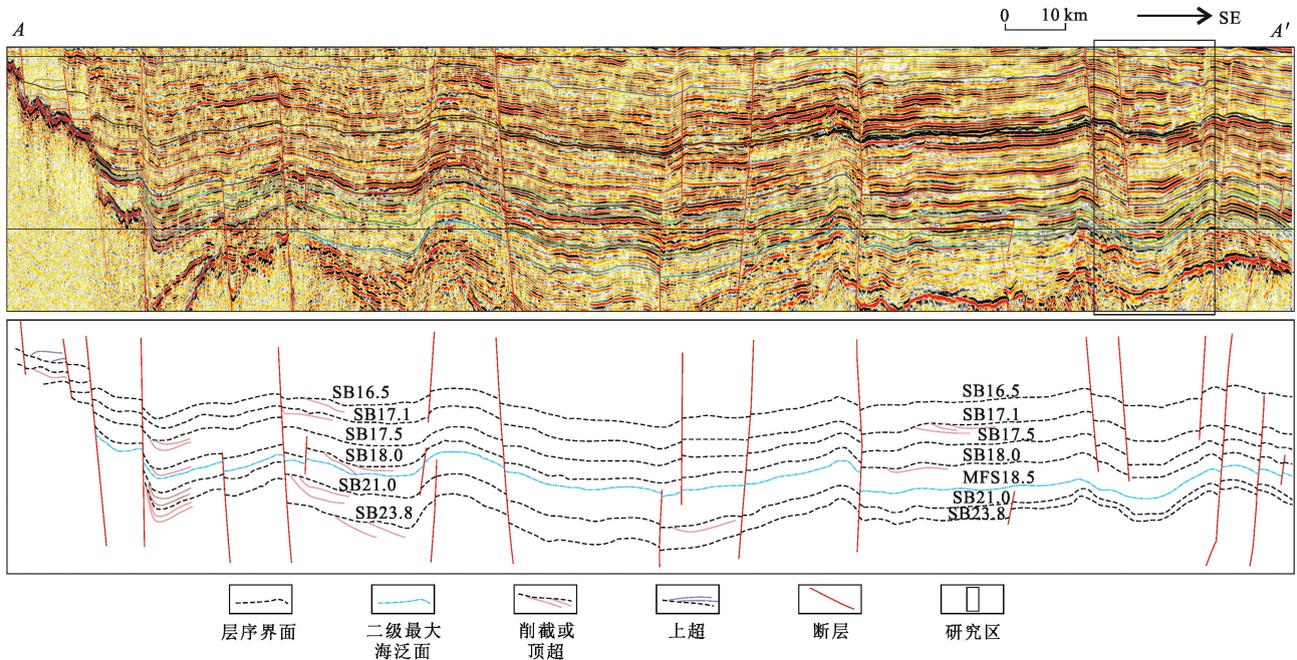


图2 过番禺4洼珠江组SE方向地震剖面及层序地层解释(剖面位置见图1)

Fig.2 Seismic section and sequence stratigraphic interpretation along SE direction of Zhujiang Formation across Panyu 4 Subsasg (position of seismic section is shown in Fig.1)

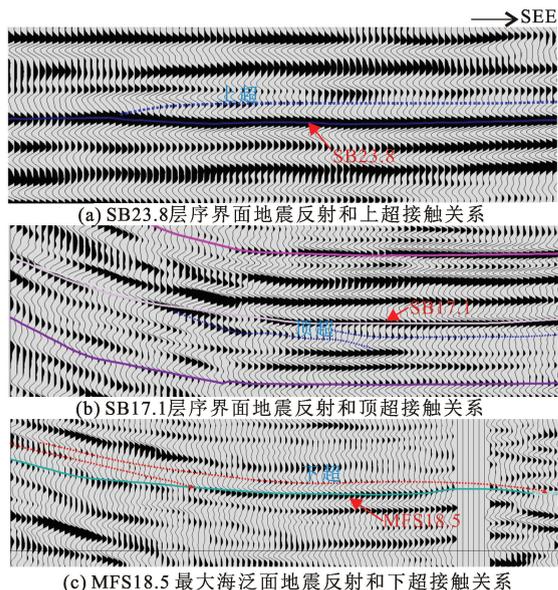


图 3 番禺 4 洼珠江组 SEE 方向层序界面典型地震反射及其地层接触关系

Fig. 3 Typical seismic reflection and stratigraphic contact relationship of sequence surfaces along SEE direction of Zhujiang Formation in Panyu 4 Subags

三级层序界面 SB21.0、SB18.0、SB17.5、SB17.1 在地震剖面上表现为中—高连续的中—强反射结构特征,区域上其地层终止关系主要表现为顶超或削截特征(图 2),研究区也具有类似的特征,各层序界面之下的顶超特征均较普遍,为过路无沉积面,表现为前积反射层终止于低角度面上(图 3(b))。这些三级层序界面上下测井曲线叠加样式或地层岩性也表现出明显的差异性(图 4、5)。其中 SB21.0 层序界面上下虽岩性差异不大,均为砂岩夹灰色泥岩沉积,但地层叠加样式变化明显,界面之下向上砂地比逐渐增加,为一套进积式的砂质沉积(图 4、5);界面之上向上砂地比逐渐减小,为一套呈退积式的砂质沉积,层序界面为最大海退面,穿过界面地层叠加样式由进积转变为退积(图 4、5)。SB18.0、SB17.5、SB17.1 层序界面为反映沉积间断特征的岩性突变面,界面之下为灰色砂岩与泥岩互层沉积,向上砂地比逐渐增加,为一套进积式的砂质沉积,自然伽马整体呈低值;界面之上以灰色泥质沉积为主,自然伽马呈高值。

### 2.2 体系域界面识别和划分

受发育位置和条件限制,研究区在珠江组沉积时期均位于大陆架内<sup>[19-20]</sup>,因此各三级层序均不发育低位域和下降域,只发育海侵域(TST)和高位域(HST),以最大海泛面为界。研究区珠江组

MFS18.5 界面有明显的地震反射特征,表现为振幅强、连续性好、中—高频率的特征,易于追踪,在其界面之上可见明显的下超反射特征(图 3(c))。最大海泛面上下测井曲线叠加样式也有明显变化,研究区主要表现为地层叠加样式由退积式或泥岩沉积变为进积式沉积(图 4)。其中 SQ1 和 SQ2 最大海泛面以下表现为退积型叠加样式,自层序界面向上砂地比逐渐减小(图 4、表 1);其他三级层序最大海泛面以下表现为泥岩沉积;穿过体系域界面各三级层序地层转变为进积式或加积式沉积,向上砂地比有增大趋势。

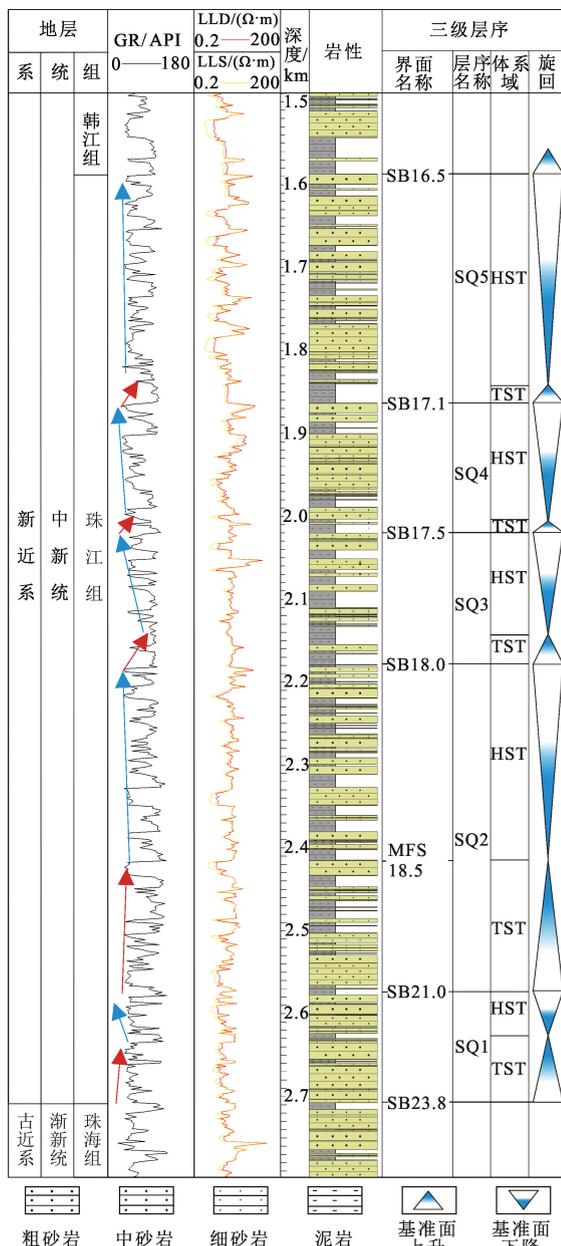
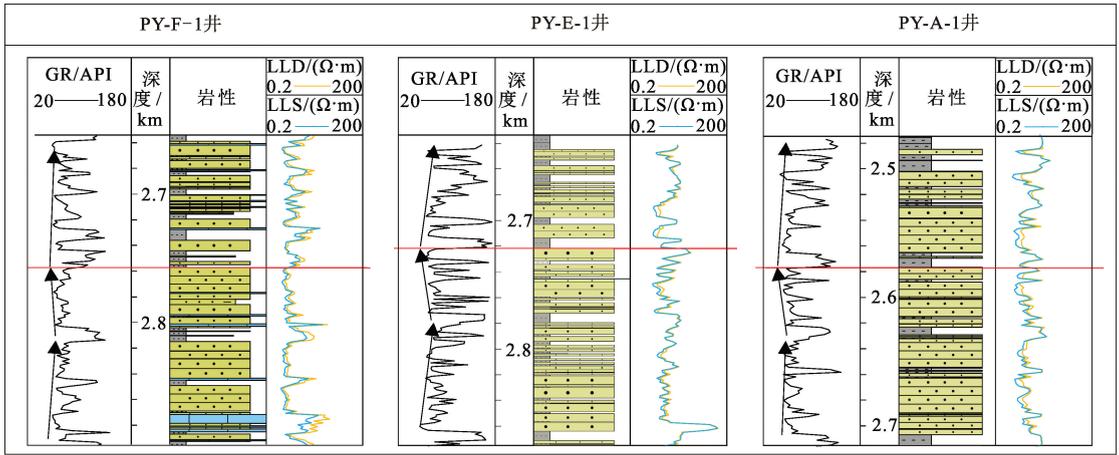
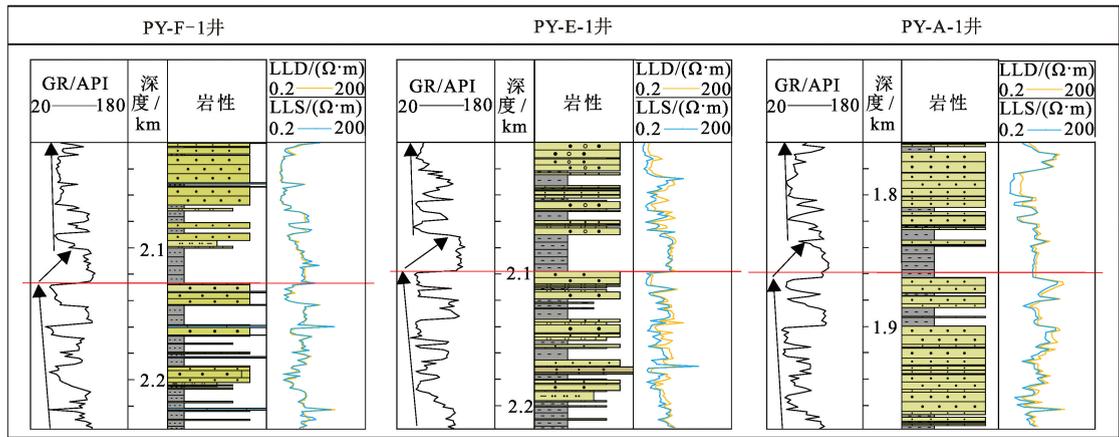


图 4 PY-A-1 井珠江组层序地层和体系域划分

Fig. 4 Sequence stratigraphic and system tract subdivision of well PY-A-1 of Zhujiang Formation



(a) 不同井在SB21.0层序界面附近测井响应



(b) 不同井在SB17.1层序界面附近测井响应



图5 SB21.0和SB17.1层序界面附近测井响应

Fig. 5 Log signatures near SB21.0 and SB17.1 sequence boundaries

表1 珠江组不同三级层序及其体系域响应特征

Table 1 Response characteristics of different third-order sequences and their system tracts in Zhujiang Formation

三级层序	体系域构成	地震反射特征	地层叠加样式或岩性变化	主要体系域
SQ5	高位域	—	进积式或加积式	高位域
	海侵域	界面之下见顶超特征	泥岩沉积	
SQ4	高位域	—	进积式	高位域
	海侵域	界面之下见顶超特征	泥岩沉积	
SQ3	高位域	—	进积式	高位域
	海侵域	界面之下见顶超特征	泥岩沉积	
SQ2	高位域	界面之上见下超特征	进积式或加积式	海侵域和高位域
	海侵域	界面之下见顶超特征	退积式	
SQ1	高位域	—	进积式	海侵域和高位域
	海侵域	界面之下削截, 界面之上上超	退积式	

2.3 层序结构类型和特征

层序结构是指三级层序内体系域构成和不同体系域地层单元时间-空间组成配置关系<sup>[4,21]</sup>。在体系域界面识别基础上,对研究区不同三级层序的层

序结构类型及其特征进行分析。研究区珠江组三级层序均为二分层序结构类型,在珠江组整个二级层序内自下而上可见多个二元旋回的垂向叠加,但发育于二级层序内不同演化阶段的三级层序具有不同

的结构特征,体系域发育程度有明显差异(图4、表1),从而进一步影响砂体成因类型及发育特征<sup>[4]</sup>。在二级层序基准面上升半旋回和过渡期,三级层序(SQ1和SQ2)海侵域和高位域均较为发育(图4、表1);而在二级层序基准面下降半旋回,各三级层序(SQ3~SQ5)海侵期发育厚度较薄,以高位体系域为主。

### 3 层序地层约束下砂体发育模式

#### 3.1 层序地层与砂体发育关系

珠江组沉积时期,由于南海陆架宽广且平缓,在古珠江水源供应的影响下,古珠江三角洲平原上多呈大面积连片展布(图6),形成以下三角洲平原—三角洲前缘为主的沉积<sup>[1,16]</sup>。侧向上砂体横向延伸范围广且稳定,垂向上砂岩与泥岩沉积形成良好的储盖组合,形成多个油藏(图7)。

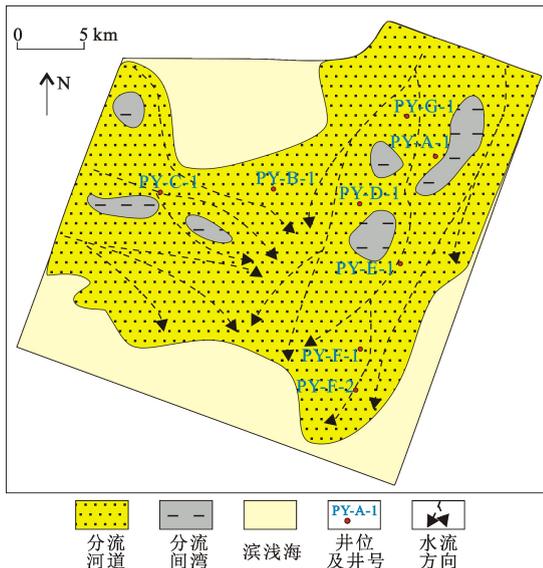


图6 番禺4洼珠江组SQ1海侵体系域沉积展布  
Fig.6 Sedimentary microfacies distribution of SQ1 transgressive system tract of Zhujiang Formation

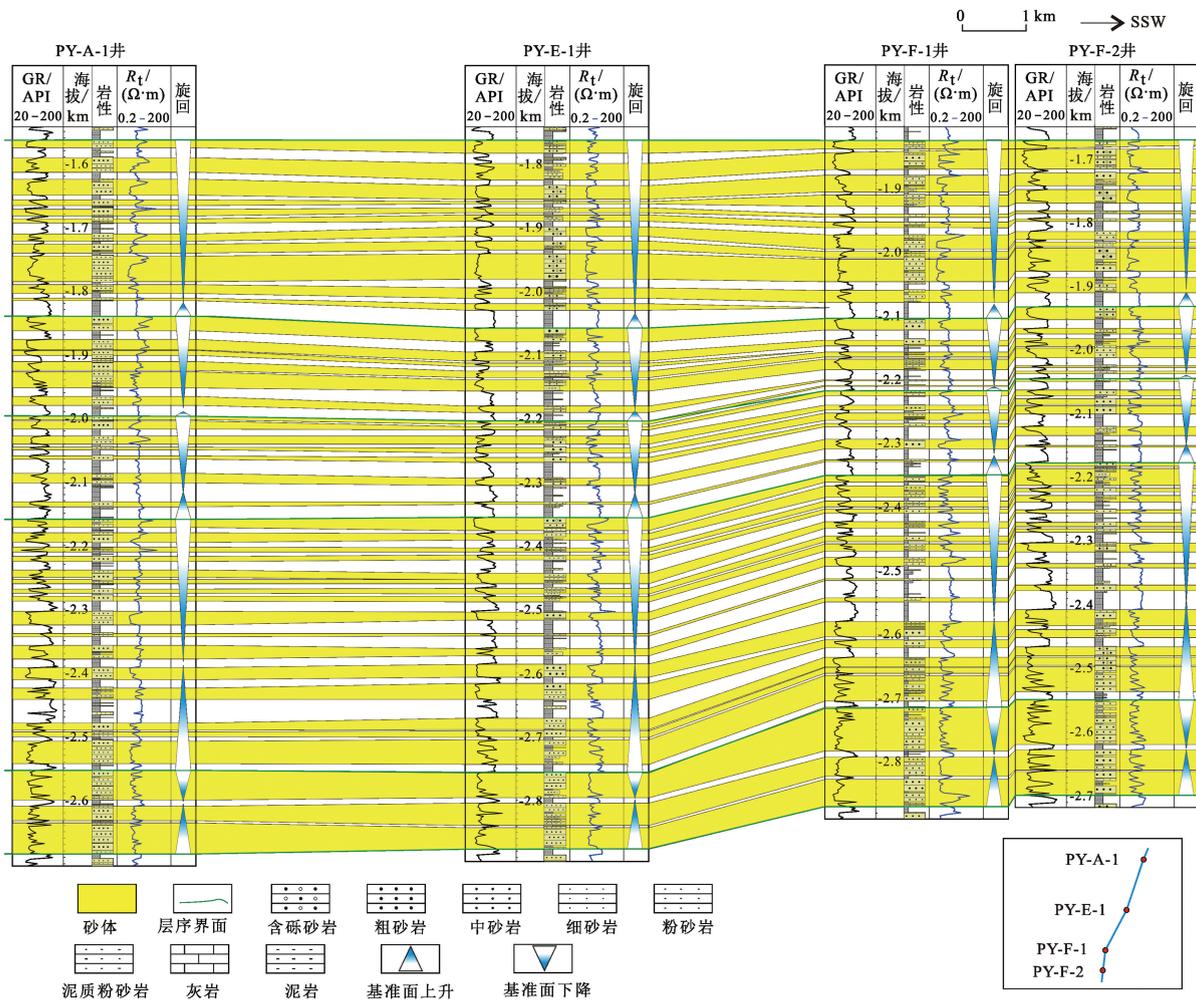


图7 番禺4洼SSW方向珠江组三级层序地层及砂体发育特征对比剖面

Fig.7 Profile of different third-order sequences and sand body development characteristics of Zhujiang Formation along SSW direction of Panyu 4 Subsalt

砂体纵向发育特征与层序地层关系密切,首先二级层序不同阶段砂体发育特征明显不同(图7、8,表2)。二级层序基准面上升半旋回(23.8~18.5 Ma),其中三级层序SQ1(23.8~21.0 Ma)沉积时期砂地比较高,一般大于75%,表现为厚层砂岩夹泥岩沉积(表2、图8(a));随着二级层序内基准面上升,砂地比有降低的趋势,单层砂岩厚度变薄,由以砂岩为主的沉积变为砂泥岩互层的沉积(图7、表2)。在二级层序基准面下降半旋回(18.5~16.5 Ma),随着基准面下降,砂地比整体有升高的趋势(图7、8(b)、(c),表2),尤其是在下降半旋回晚期(17.1~16.5 Ma),砂地比和单层砂岩厚度明显增大,表现为以砂岩为主的砂泥岩互层沉积(图7、8(c),表2)。

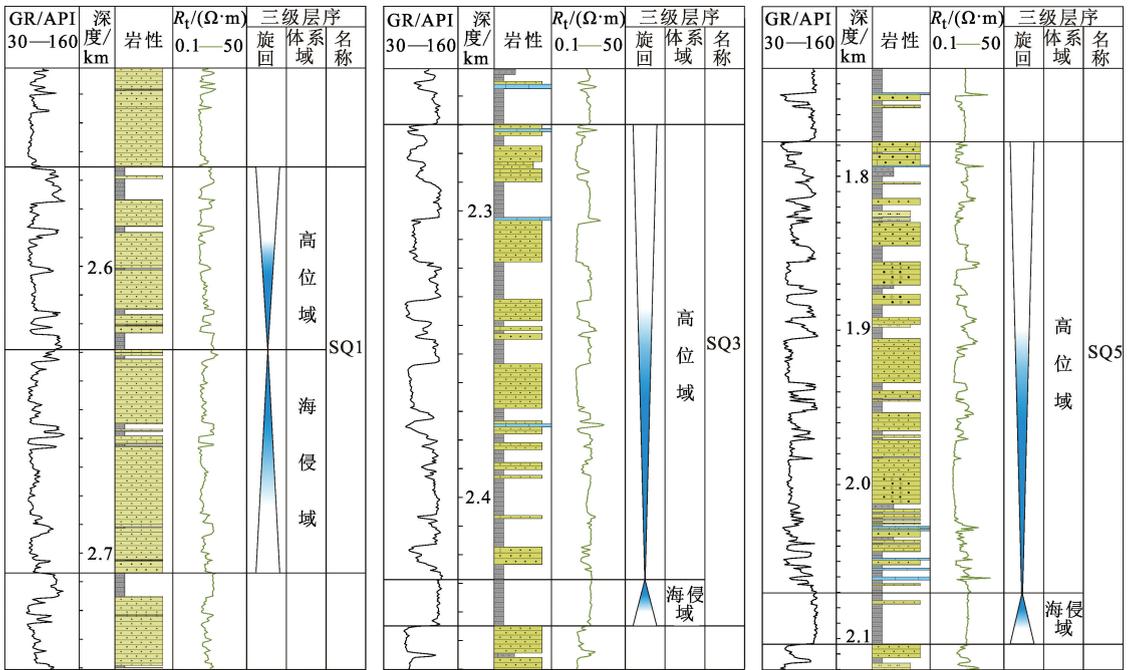
其次具有不同层序结构特征的三级层序其砂体纵向发育特征也存在明显差异(图7、8)。三级层序

SQ1和SQ2海侵域和高位域均是层序的主体,砂体在这两个体系域均较为发育(图7、8(a));而三级层序SQ3~SQ5高位体系域是层序的主体,海侵域以泥岩沉积为主,砂体主要发育在高位域(图7、8(b)、(c))。

表2 单井不同三级层序地层厚度和泥地比变化

Table 2 Stratum thickness and ratio between mudstone and stratum thickness of different third-order sequences in different wells

三级层序名称	PY-A-1		PY-E-1		PY-F-1	
	地层厚度/m	泥地比/%	地层厚度/m	泥地比/%	地层厚度/m	泥地比/%
SQ1	138.53	17.27	141.8	28.70	156.5	21.47
SQ2	389.54	45.34	378.5	47.24	362.6	53.12
SQ3	159.10	57.07	150.8	56.56	133.6	60.43
SQ4	156.82	33.39	147.0	44.76	111.8	54.21
SQ5	276.00	35.06	294.2	39.94	280.0	44.61



(a) 二级层序基准面上升半旋回SQ1砂体发育特征(PY-A-1井) (b) 二级层序基准面下降半旋回早期SQ3砂体发育特征(PY-F-1井) (c) 二级层序基准面下降半旋回晚期SQ5砂体发育特征(PY-F-1井)



图8 番禺4洼珠江组不同三级层序结构特征及其砂体发育特征

Fig. 8 Sequence architectures and sand body development characteristics of different third-order sequence stratigraphy of Zhujiang Formation in Panyu 4 Subsag

### 3.2 层序控制要素作用下砂体发育模式

海相层序地层受到物源供给、构造沉降及全球海平面变化等诸多因素的控制,各控制因素的变化控制层序地层演化和层序地层结构特征,从而进一步影响砂体发育规律<sup>[4,6-8,21]</sup>。

在珠江组沉积时期,研究区沉降速率和沉积速率均可以分为“早期稳定—晚期加速”2个阶段(图9(a)、(b));鉴于三级海平面变化具有全球性,因此全球和珠江口盆地的三级海平面变化具有一致性,呈现多个旋回,区域构造运动仅改变海平面变化幅

度(图9(c)、(d))<sup>[20]</sup>;二级全球海平面变化与珠江口盆地相对海平面变化在目的层段内变化特征也相似,整体表现为“先减小后增大”的特征(图9(c)、(d))。

二级层序基准面上升半旋回(23.8~18.5 Ma),研究区构造沉降速率和物源供应速率相对较小(图9(a)、(b)),因此相对海平面变化主要受全球海平面变化影响。在23.8~21 Ma沉积时期,全球海平面变化幅度较小(图9(c)),在古珠江供应和海平面升降旋回控制下,研究区海侵域和高位域发育,但整体水深变化范围较小,形成一套富砂质的沉积,砂岩含量高,表现为厚层砂岩夹薄层泥岩沉积

(图7、8(a)、10(a),表2)。至21 Ma附近,出现一次大规模的海平面下降(图9(c)),古珠江三角洲一直迁移到陆架边缘,陆架区暴露无沉积<sup>[20]</sup>,SQ1三级层序形成。在相对海平面下降到最低后的缓慢上升期,陆坡地区形成低位楔状体沉积,研究区无沉积<sup>[20, 26]</sup>。此后海平面大幅度上升(图9(c)),三角洲向陆方向不断退缩,海侵体系域发育,水深逐渐加深,形成一套退积型的准层序组沉积,砂岩含量降低,单层砂岩厚度变薄(图7、10(b))。至18.5 Ma时期,全球海平面上升达到高点,再加上突然加速沉降作用,形成一次区域海泛作用,二级最大海泛面形成(图9(a)、(c)、(d))。

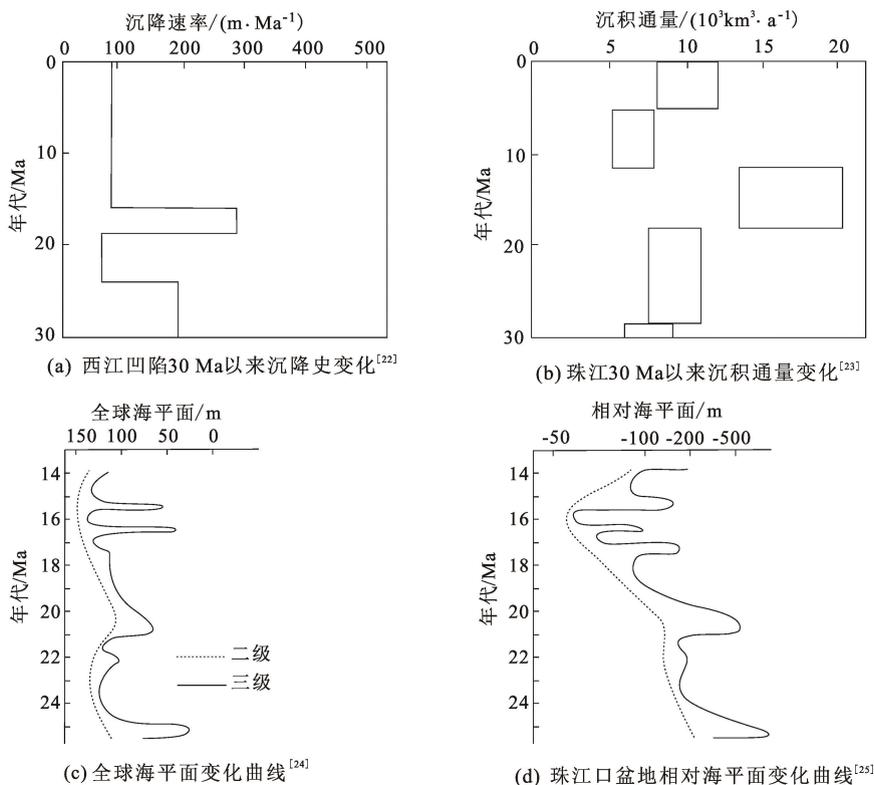


图9 珠江口盆地和全球30 Ma以来层序地层控制要素变化

Fig. 9 Variations of sequence stratigraphy controlling factors since 30 Ma for Pearl River Mouth Basin and globe

二级层序基准面下降半旋回(18.5~16.5 Ma),构造沉降进入裂后加速沉降幕(图9(a))<sup>[27]</sup>,物源供应也处于加速供应阶段(图9(b)),因此该时期尽管沉积时间相对较短,但沉积厚度却大于上升半旋回沉积厚度(表2)。其中在18.5~18.0 Ma沉积时期,研究区水深仍旧较大,高位体系域发育,以砂泥岩互层沉积为主(图7、10(c))。在18.0~16.5 Ma沉积时期,在三级全球海平面变化和构造沉降综合作用下,海侵期三级相对海平面大规模快速上升(图9(d)),因此研究区该时期三级层序海侵体系域均以海泛泥岩沉积为主,沉积厚度较薄(图7、

8(b)、(c))。该时期(18.5~16.5 Ma)二级全球海平面和构造沉降变化使二级相对海平面整体有上升的趋势,早中期其上升速率快(图9(d)),与物源供应速率整体相当,水深变化不大,仍以砂泥岩互层沉积为主(图7、8(b)、10(d));晚期(17.1~16.5 Ma)其上升速率慢(图9(d)),可容空间变化速率小于物源供应的速率,因此水深减小,三角洲有明显向海推进的趋势,砂岩含量和砂岩单层厚度明显增大(图7、8(c)、10(e),表2)。

基于以上分析,认为三级全球海平面升降旋回控制珠江口盆地相对海平面升降旋回,而三级相对

海平面升降旋回控制研究区三级层序的发育和层序结构类型及特征,进一步控制具有不同层序结构特征的三级层序的砂体发育规律。相对海平面大幅度下降时期形成层序界面,研究区无沉积或遭受暴露;相对海平面较缓慢上升时(大于物源供应速率)形成以三角洲沉积为主的由退积型准层序组组成的海侵域(SQ1和SQ2的海侵域)。相对海平面快速大范围上升时形成以海泛泥岩沉积为主的海侵域(SQ3~SQ5的海侵域)。相对海平面上升速率缓慢且小于物源供应速率时形成以进积型准层序组组成的高位域(SQ1~SQ5的高位域)。

物源与二级相对海平面变化共同作用,控制二级层序内砂体的垂向叠置样式和平面的演化。

在此基础上建立研究区二级层序不同控制要素作用下的砂体发育响应模式(图10)。在二级层序基准面上升期,全球海平面变化相对主导,早期其变化幅度小导致水深变化不大,砂岩含量高,表现为厚层砂岩夹泥岩沉积(图10(a));晚期全球海平面大幅度上升导致水深大大增加,砂岩含量减小,表现为砂泥岩互层沉积(图10(b))。在二级层序基准面下降期,物源供应相对主导,表现为砂泥岩互层沉积,砂岩含量和单层厚度整体有增大趋势(图10(c)、(d)、(e)),尤其到晚期相对海平面变化速率小于物源供应速率,因此水深减小,砂岩含量明显增大,表现为以砂岩为主的砂泥岩互层沉积(图10(e))。

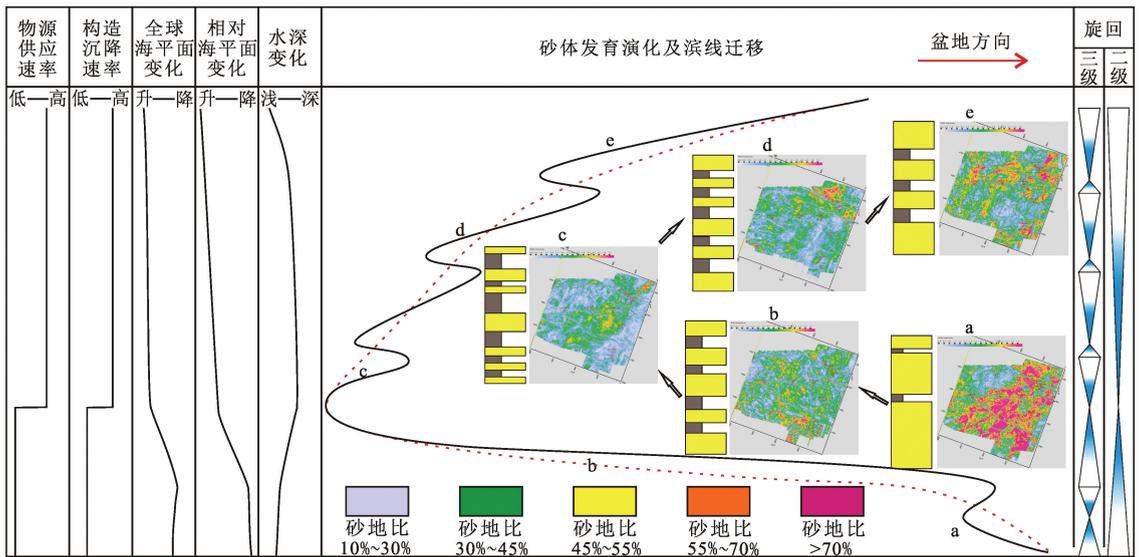


图10 番禺4洼珠江组二级层序不同控制要素作用下砂体发育模式

Fig. 10 Sandbody development model in responding to different controlling factors of second-order sequence of Zhujiang Formation in Panyu 4 Subg

### 4 结论

(1)番禺4洼珠江组地层共划分为1个二级层序,5个三级层序,各三级层序只发育海侵域和高位域,但二级层序不同演化阶段三级层序结构和砂体发育特征有较大差异。

(2)砂体纵向发育特征与二级层序基准面演化和三级层序结构特征密切相关。二级层序基准面上升半旋回,砂岩含量整体有降低趋势,由以砂岩为主的沉积变为以砂泥岩互层为主的沉积,单层砂岩厚度变小;二级层序基准面下降半旋回,砂岩含量整体有增大趋势,尤其到晚期砂岩含量明显增大。海侵域相对不发育的层序(SQ3~SQ5)砂体主要发育在高位域。

(3)三级全球海平面升降旋回控制珠江口盆地三级相对海平面升降旋回,而三级相对海平面升降旋回控制三级层序的发育和层序结构类型及特征,进一步控制具有不同结构三级层序的砂体发育规律。

(4)物源与二级相对海平面变化共同作用,控制二级层序内砂体的垂向叠置样式和平面演化。二级层序基准面上升期,全球海平面变化相对主导,早期其变化幅度小,砂岩含量高,表现为厚层砂岩夹泥岩沉积;晚期全球海平面大幅度上升导致水深明显增加,表现为砂泥岩互层沉积。二级层序基准面下降期,物源供应相对主导,表现为砂泥岩互层沉积,砂岩含量和单层厚度整体有增大趋势,尤其到晚期相对海平面变化速率小于物源供应速率,因此水深

减小,单层砂岩厚度明显增大,表现为以砂岩为主的砂泥岩互层沉积。

## 参考文献:

- [1] 陈长民,黄丽芬,李昭伟. 番禺4-2油藏的形成条件及勘探意义[J]. 中国海上油气(地质),1999,13(3):145-151.  
CHEN Changmin, HUANG Lifan, LI Zhaowei. Accumulation conditions of PY4-2 oil pool and implication for exploration[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999,13(3):145-151.
- [2] 刘从印,周平兵,曾驿,等. 番禺4洼地区新近系油气成藏主控因素分析[J]. 中国海上油气,2009,21(2):91-94.  
LIU Congyin, ZHOU Pingbing, ZENG Yi, et al. An analysis of the main controls on Neogene hydrocarbon accumulation in Panyu 4 Sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2009,21(2):91-94.
- [3] 吴智平,胡阳,钟志洪. 珠一坳陷番禺4洼新生代断裂特征及其区域动力背景[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(4):1-9.  
WU Zhiping, HU Yang, ZHONG Zhihong. Cenozoic faults characteristics and regional dynamic background of Panyu 4 subsag, Zhu I Depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(4):1-9.
- [4] 王健,操应长,李俊良. 北部湾盆地涠西南凹陷古近系层序结构与非构造圈闭[J]. 石油勘探与开发,2012,39(3):304-312.  
WANG Jian, CAO Yingchang, LI Junliang. Sequence structure and non-structural trap of Paleogene system in Weixinan Sag of Beibu Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(3):304-312.
- [5] 廖计华,王华,甘华军,等. 莺歌海盆地东方区中新统黄流组一段高精度层序地层特征与隐蔽油气藏预测[J]. 天然气地球科学,2017,28(2):241-253.  
LIAO Jihua, WANG Hua, GAN Huajun, et al. High resolution sequence stratigraphy and prediction of subtle reservoir in the first section of Miocene Huangliu Formation, Dongfang area of Yinggehai Basin, South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2017,28(2):241-253.
- [6] 林杨松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应[J]. 沉积学报,2009,27(5):849-862.  
LIN Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009,27(5):849-862.
- [7] 焦鹏,郭建华,张向涛,等. 陆丰地区古近系恩平组沉积演化特征及沉积模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(5):9-19.  
JIAO Peng, GUO Jianhua, ZHANG Xiangtao, et al. Sedimentary evolution characteristics and sedimentary model of Paleogene Enping Formation, Lufeng area, Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017,41(5):9-19.
- [8] 林杨松,施和生,李浩,等. 南海北部珠江口盆地陆架边缘斜坡带层序结构和沉积演化及控制作用[J]. 地球科学,2018,43(10):3407-3422.  
LIN Changsong, SHI Hesheng, LI Hao, et al. Sequence architecture, sedimentary evolution and controlling processes of continental slope in Pearl River Mouth Basin, Northern South China Sea [J]. Earth Science, 2018,43(10):3407-3422.
- [9] 王春修. 珠江口盆地海相中新统层序地层分析及其意义[J]. 中国海上油气(地质),1996,10(5):279-288.  
WANG Chunxiu. Sequence stratigraphy analysis of marine Miocene Formations in the Pearl River Mouth Basin and its significance [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1996,10(5):279-288.
- [10] 黄诚,傅恒,汪瑞良,等. 珠江口盆地东沙隆起珠江组层序界面的识别及划分[J]. 海相油气地质,2010,15(3):32-39.  
HUNAG Cheng, FU Heng, WANG Ruiliang, et al. Identification and division of Tertiary Zhujiang sequence boundaries in Dongsha Uplift, Pearl River Mouth Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010,15(3):32-39.
- [11] 李向阳,张昌民,张尚锋,等. 珠江口盆地新近系层序划分与发育模式[J]. 石油天然气学报,2012,34(4):47-51,166.  
LI Xiangyang, ZHANG Changmin, ZHANG Shangfeng, et al. Neogene sequence division and its development pattern in Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012,34(4):47-51,166.
- [12] 吴艳婷,邓宏文,芮志锋,等. 珠江口盆地惠州凹陷西区珠江组层序地层学研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(7):111-116.  
WU Yanting, DENG Hongwen, RUI Zhifeng, et al. Research on sequence stratigraphy of Zhujiang Formation in western Huizhou Sag [J]. Science and Technology and Engineering, 2014,14(7):111-116.
- [13] 黄峰,彭光荣,全志臻,等. 珠江口盆地番禺4洼断块圈闭勘探成效及影响因素[J]. 海洋地质前沿,2015,31(7):36-41,65.  
HUANG Feng, PENG Guangrong, QUAN Zhizhen, et al. Exploration efficiency in fault-sealed traps and influence factors: a case from PY4 Sag of Pearl River Mouth Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2015,31(7):36-41,65.

- [14] 梁杰,张向涛,许新明,等. 珠江口盆地番禺4洼古近系文昌组构造变形特征及成因机制[J]. 现代地质, 2018,32(4):750-757.  
LIANG Jie, ZHANG Xiangtao, XU Xinming, et al. Characteristics and formation mechanism of structural deformation in the Paleogene Wenchang Formation in the Panyu 4 Sag, Pearl River Estuary Basin [J]. Geoscience, 2018,32(4):750-757.
- [15] 钟志洪,施和生,朱明,等. 珠江口盆地构造-地层格架及成因机制探讨[J]. 中国海上油气, 2014,26(5):20-29.  
ZHONG Zhihong, SHI Hesheng, ZHU Ming, et al. A discussion on the tectonic-stratigraphic framework and its origin mechanism in Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014,26(5):20-29.
- [16] 彭光荣,温华华,刘从印,等. 珠江口盆地珠一坳陷浅层油气勘探实践及潜力探讨:以番禺4洼为例[J]. 海洋地质前沿, 2013,29(3):22-28.  
PENG Guangrong, WEN Huahua, LIU Congyin, et al. Practice of shallow oil and gas exploration in Zhu I Depression of the Pearl River Mouth Basin: a case from Panyu 4 Sag [J]. Marine Geology Frontiers, 2013,29(3):22-28.
- [17] 柯光明,郑荣才,高红灿,等. 珠江口盆地珠海组—韩江组基准面旋回与储层非均质性的关系[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007,34(1):41-46.  
KE Guangming, ZHENG Rongcai, GAO Hongcan, et al. Control of stratigraphic sequence over the reservoir heterogeneity of the Zhuhai-Hanjiang Formation in the Pearl River Mouth Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science edition), 2007,34(1):41-46.
- [18] 王福国,梅廉夫,施和生,等. 珠江口盆地珠一坳陷古近系构造样式分析[J]. 大地构造与成矿学, 2008,32(4):448-454.  
WANG Fuguo, MEI Lianfu, SHI Hesheng, et al. Structural styles of Paleogene in Zhu I Depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Geotectonics and Metallogensis, 2008,32(4):448-454.
- [19] 陈维涛,杜家元,龙更生,等. 珠江口盆地海相层序地层发育的控制因素分析[J]. 沉积学报, 2012,30(1):73-83.  
CHEN Weitao, DU Jiayuan, LONG Gengsheng, et al. Analysis on controlling factors of marine sequence stratigraphy evolution in Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012,30(1):73-83.
- [20] 庞雄,陈长民,施和生,等. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应[J]. 地学前缘, 2005,12(3):167-177.  
PANG Xiong, CHEN Changmin, SHI Hesheng, et al. Response between relative sea level change and the Pearl River deep water fan system in the South China Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2005,12(3):167-177.
- [21] 朱红涛,LIU Keyu,杨香华,等. 陆相湖盆层序构型及其岩性预测意义:以珠江口盆地惠州凹陷为例[J]. 地学前缘, 2012,19(1):32-39.  
ZHU Hongtao, LIU Keyu, YANG Xianghua, et al. The sequence stratigraphic architecture of continental lake basin and its significance on lithofacies prediction: taking Huizhou Sag in Pearl River Mouth Basin as an example [J]. Earth Science Frontiers, 2012,19(1):32-39.
- [22] ZHOU D, SUN Z, LIAO J, et al. Filling history and post-breakup acceleration of sedimentation in the Baiyun Sag, deep water northern South China Sea [J]. Journal of Earth Science, 2009,20(1):160-171.
- [23] CLIFT P D, LAYNE G D, BLUSZTAJN J. Marine sedimentary evidence for monsoon strengthening, Tibetan Uplift and Drainage Evolution in East Asia [J]. Geophysical Monograph Series, 2004,149:255-282.
- [24] HAQ B U, HARDENBOL J, VAIL P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. Science, 1987,235(4793):1156-1167.
- [25] 秦国权. 微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996,16(4):1-18.  
QIN Guoquan. Application of micropaleontology to the sequence stratigraphic studies of late Cenozoic in the Pearl River Mouth Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1996,16(4):1-18.
- [26] 陈维涛,施和生,杜家元,等. 珠江口盆地陆架坡折区地层岩性圈闭形成条件及发育模式:以珠江组地层为例[J]. 石油实验地质, 2016,38(5):619-627.  
CHEN Weitao, SHI Hesheng, DU Jiayuan, et al. Formation conditions and development model of stratigraphic-lithologic traps in shelf break zone, Pearl River Mouth Basin: Zhujiang Formation as an example [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2016,38(5):619-627.
- [27] 王聪,梅廉夫,陈汉林,等. 珠江口盆地惠州凹陷裂后期沉降特征及成因分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2016,47(3):807-818.  
WANG Cong, MEI Lianfu, CHEN Hanlin, et al. Post-rift subsidence history and mechanism of the Huizhou Depression in the Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2016,47(3):807-818.