

王华,戴建文,柴愈坤,等.珠江口盆地新近纪相对海平面变化精细表征及其对三角洲沉积演化的反映:以恩平凹陷恩平 A 油田韩江组—珠江组为例. 吉林大学学报(地球科学版),2024,54(2):359-370. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220279.  
Wang Hua, Dai Jianwen, Chai Yukun, et al. Detailed Characterization of Neogene Relative Sea Level Change in Pearl River Mouth Basin and Its Control over Delta Sedimentary Evolution; Taking Hanjiang Formation and Zhujiang Formation of Oilfield A in Enping Sag as an Example. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2024, 54(2): 359-370. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220279.

# 珠江口盆地新近纪相对海平面变化精细表征 及其对三角洲沉积演化的反映

## ——以恩平凹陷恩平 A 油田韩江组—珠江组为例

王 华,戴建文,柴愈坤,衡立群,宋 刚,孙 爽,黎 瑞

中海石油(中国)有限公司深圳分公司,广东 深圳 518054

**摘要:**恩平凹陷恩平 A 油田在新近纪位于古珠江三角洲前缘,一方面由于砂体普遍偏薄,使得储层预测难度大,另一方面由于三角洲前缘河流作用和海洋作用的往复交替,也使得三角洲沉积微相变化复杂,影响后期的增储上产。针对上述问题,本文在钻井小层精细对比的基础上,充分利用测井解释成果,依据古三角洲地势平坦、地层厚度变化小的特点,采用砂层组平均砂岩体积分数表征相对海平面的变化;并进一步利用岩心和地震沉积学方法,确定主力砂层组的平面沉积相展布。研究表明:研究区珠江组、韩江组的砂层组平均砂岩体积分数能够较好地表征古海平面的相对变化,可以实现对五级相对海平面变化的精细刻画。通过对砂层组级别砂体的沉积微相分析,表明相对海平面变化与三角洲的沉积微相演化具有良好的对应关系,验证了基于砂层组平均砂岩体积分数来表征相对海平面变化的方法具有可行性,可以用来预测三角洲的演化和砂体的叠加关系。

**关键词:**相对海平面变化;珠江三角洲;沉积微相;砂岩体积分数;新近纪;恩平凹陷

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220279

中图分类号:P618.13;P631

文献标志码:A

## Detailed Characterization of Neogene Relative Sea Level Change in Pearl River Mouth Basin and Its Control over Delta Sedimentary Evolution: Taking Hanjiang Formation and Zhujiang Formation of Oilfield A in Enping Sag as an Example

Wang Hua, Dai Jianwen, Chai Yukun, Heng Liqun, Song Gang, Sun Shuang, Li Rui

Shenzhen Branch, CNOOC China Limited, Shenzhen 518054, Guangdong, China

**Abstract:** Oilfield A in Enping sag was located in the ancient Pearl River delta front in the Neogene period. The sand bodies were generally thin, which made it difficult to predict the reservoir. The alternating of fluvial and oceanic processes also complicated the sedimentary microfacies transformation.

收稿日期:2022-10-12

作者简介:王华(1981—),男,高级工程师,主要从事油气田开发地质方面的研究,E-mail:wanghua3@cnooc.com.cn

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05024-003)

Supported by the National Science and Technology Major Projects (2016ZX05024-003)

These factors affect the increase of reserves and production in the future. Concerning the above problems, based on fine layer correlation and logging interpretation results, the average sandstone volume fraction in sand sets is used to characterize the relative sea level changes according to the characteristics of flat terrain and fewer changes in stratum thickness of ancient delta. Research shows that the average sandstone volume fraction of Zhujiang Formation and Hanjiang Formation in the study area can better represent the relative sea level changes and accurately describe the fifth order relative sea level change. By analyzing the sedimentary microfacies of sand sets, it revealed a good correspondence between relative sea level changes and the sedimentary microfacies evolution of deltas. The feasibility of characterizing relative sea level changes based on the average sandstone volume fraction of sand layers was verified, which can be used to predict the evolution of deltas and the superposition relationship of sand bodies.

**Key words:** sea level change; Pearl River delta; sedimentary microfacies; sandstone volume fraction; Neogene; Enping sag

## 0 引言

恩平凹陷是珠江口盆地的一个断拗型三级盆地<sup>[1]</sup>,近年来陆续发现了多个大中型油田,探明油气储量累计超 1 亿 m<sup>3</sup>,油气资源勘探潜力巨大<sup>[2-5]</sup>。

恩平凹陷在新生代珠江组、韩江组沉积时期处于古珠江三角洲前缘,同时受河流与海洋作用的影响<sup>[6-7]</sup>。随着恩平 A 油田珠江组与韩江组油气勘探开发的深入,其地质研究难点也逐渐显现,最关键的是砂岩储层沉积规律认识不清,砂体薄且岩性边界预测难,利用三级层序甚至四级层序已经难以满足储层精细预测的需求。因此,对恩平 A 油田开展三角洲发育规律的精细研究,有助于深化研究区沉积微相的认识和岩性油藏的预测,刻画岩性油藏边界,进一步落实储层空间展布。

海平面变化控制了沉积相的类型与砂体的进积和退积<sup>[8-9]</sup>,成为分析和预测砂体平面分布的主要手段。目前地层中的相对海平面变化主要通过层序地层分析的手段进行,但通过层序地层分析很难精确获取五级以上的高频海平面变化曲线,也有学者采用天文轨道周期分析来获取海平面变化<sup>[10-11]</sup>,不过很难克服三角洲朵叶体自旋回迁移的影响。

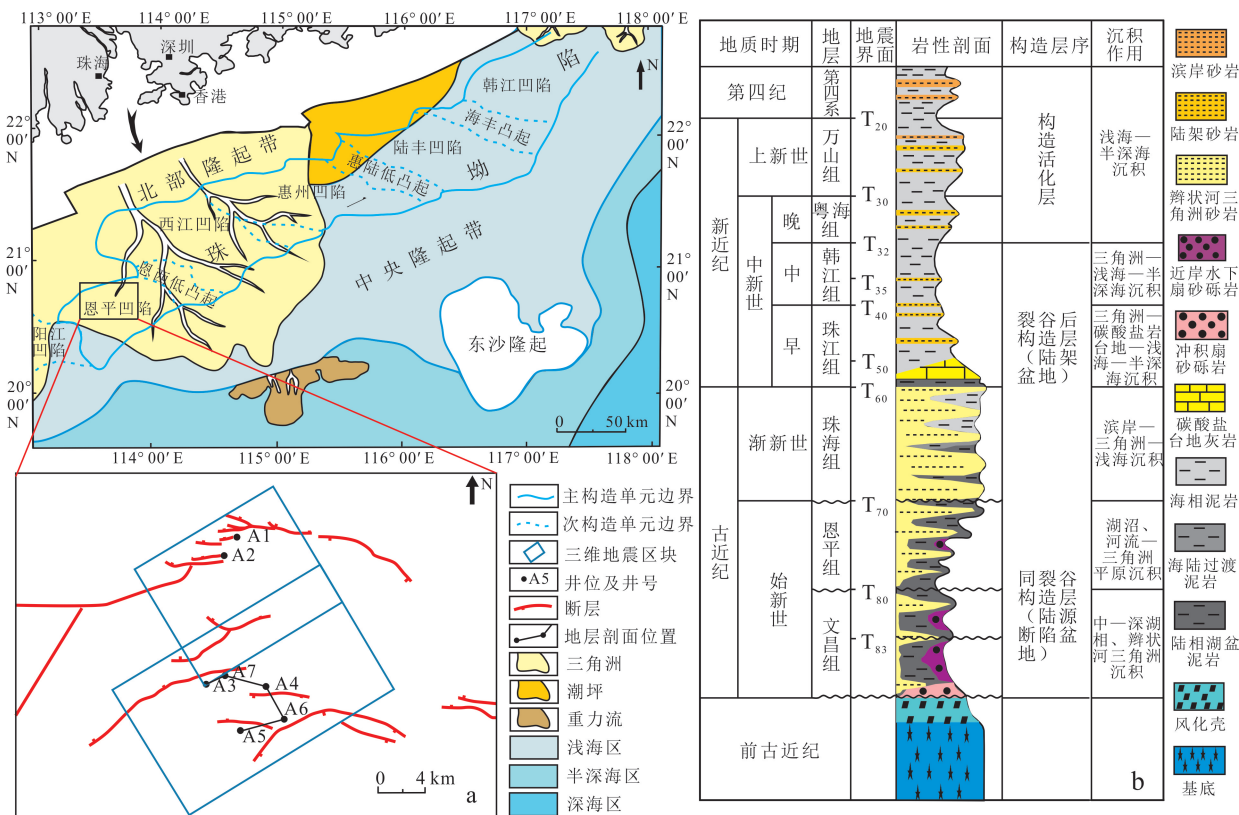
本文以相对海平面变化精细表征为主线,在钻井沉积相约束下,尝试通过区域砂岩体积分数变化来反映五级相对海平面变化,进一步分析沉积微相的平面展布和垂向演化,以期解决研究区新近纪三角洲砂体准确预测的难题,为其他海上新近纪相似区块的储层预测研究提供借鉴。

## 1 研究区地层特点及海平面变化精细表征

恩平凹陷位于南海北部珠江口盆地珠一拗陷的西南端,东北方向与西江凹陷毗邻,西南方向为阳江凹陷(图 1a)。珠一拗陷新生代地层自下而上依次为:陆相断陷期的始新统文昌组、恩平组,海陆交互拗陷期的渐新统珠海组,下中新统珠江组,中中新统韩江组,以及构造再次活化期的上中新统粤海组,上新统万山组及第四系(图 1b)。

综合地震解释与前人成果<sup>[6]</sup>,恩平凹陷的韩江组可划分为 6 个三级层序,珠江组划分为 5 个三级层序。对于韩江组和珠江组的三级海平面升降变化,前人已开展过相关研究<sup>[6-7,12]</sup>。基于井震结合的层序地层学方法,层序范围内的海平面升降曲线比较圆滑,每一个层序对应于一个完整的相对海平面升降变化过程(图 2)。在三级层序内通过综合考虑沉积旋回和地层叠置样式,利用层序界面、最大海泛面、最大海退面和高频海泛面等特征可以继续划分出若干四级层序<sup>[6]</sup>,分别对应着珠江组和韩江组中的亚段(图 2)。但该方法对高频海平面变化的揭示主要体现在 Cross 高分辨率层序地层的基准面升半旋回和下降半旋回中,对于砂层组和小层级别的储层预测需求,这种精度的相对海平面变化远远不够。

本文在前人区域地层研究的基础上<sup>[6-7,13]</sup>,以沉积学、层序地层学等理论为指导,在地震层序和标志层的约束下,采用旋回地层对比方法开展钻井砂层组及小层级别的地层划分与对比,建立恩平 A 油田韩江组与珠江组砂层组和小层级别的高分辨率地层格架,进一步开展海平面相对变化和沉积微相变化



a. 珠江口盆地恩平凹陷研究区位置和井位分布图; b. 珠江口盆地地层沉积序列图。据脚注①修编。

图 1 珠一坳陷恩平凹陷分布位置及地层概况

Fig.1 Distribution location and geological conditions of Enping sag in Zhuyi depression

规律的对比研究。

从地震反射(图 3)和砂层组的精细对比结果(图 4)来看,研究区韩江组和珠江组的空间分布相对比较稳定,缺少三角洲典型的前积结构,前三角洲和三角洲前缘的坡度非常平缓,表明新近纪古珠江三角洲在恩平凹陷一带的沉积地形宽缓,更多地类似于浅水三角洲。

其实,现代珠江三角洲地形也非常平坦,甚至前三角洲相基本不发育,一直到陆棚泥质沉积区的水深也只有 30 m 左右<sup>[14]</sup>。部分已有研究成果也表明,恩平凹陷在韩江组、珠江组的大面积拗陷沉积期位于比较宽缓的内陆架上,古珠江三角洲的沉积坡度很缓<sup>[15-16]</sup>,陆棚坡折带位于南部白云凹陷的边缘。在珠一坳陷韩江组和珠江组沉积期,三角洲前缘和前三角洲地带的水体作用尤其是波浪作用往往比较强,河道与河口坝的砂体可以被改造形成一系列平行河道方向、延伸很远的沿岸砂脊<sup>[7,16]</sup>和砂席。

这种沉积特点导致在内陆架上的古珠江三角洲前缘和前三角洲不会出现各类水下塌扇等异常事件砂体沉积,稳定的内陆架在该时期也无同生断层发育。这就使得研究区韩江组和珠江组的三角洲沉积砂体正常情况下呈现靠近陆地厚度偏大、向海洋方向厚度渐薄的趋势,三角洲前缘砂体主要随海平面的升降而发生进积和退积。基于此,可以在小层精细对比的基础上,通过砂组或小层级别的平均砂岩体积分数来精细刻画海平面的变化。具体步骤是:先在图 4 的对比格架基础上,对研究区 7 口钻井的韩江组、珠江组进一步精细划分对比;然后根据测井解释计算每口井每个小层的砂岩体积分数,将每个小层在各井的砂岩体积分数取平均值;最后将数值投在相应的垂向小层序列中,形成全区统一的韩江组—珠江组砂泥岩垂向精细变化曲线,以代表高频海平面的相对变化曲线。结果见图 2 的五级相对海平面变化曲线。

①柴愈坤. 恩平 A 油田岩性-构造油藏储层精细表征研究. 深圳: 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 2021.

用该方法得到的五级海平面相对变化曲线与原来的三级海平面相对变化曲线相比,整体趋势基本类似,但能显示出更多的四级、五级海平面相对变化的细节(图 2)。

当然,由于研究区范围有限,避免不了会有大规

模的自旋回砂体干扰。但如果能将该方法应用到整个恩平凹陷新近纪的内陆架沉积区,其能包含更多、更大范围的井数据,得到的海平面升降变化曲线也会更精确。

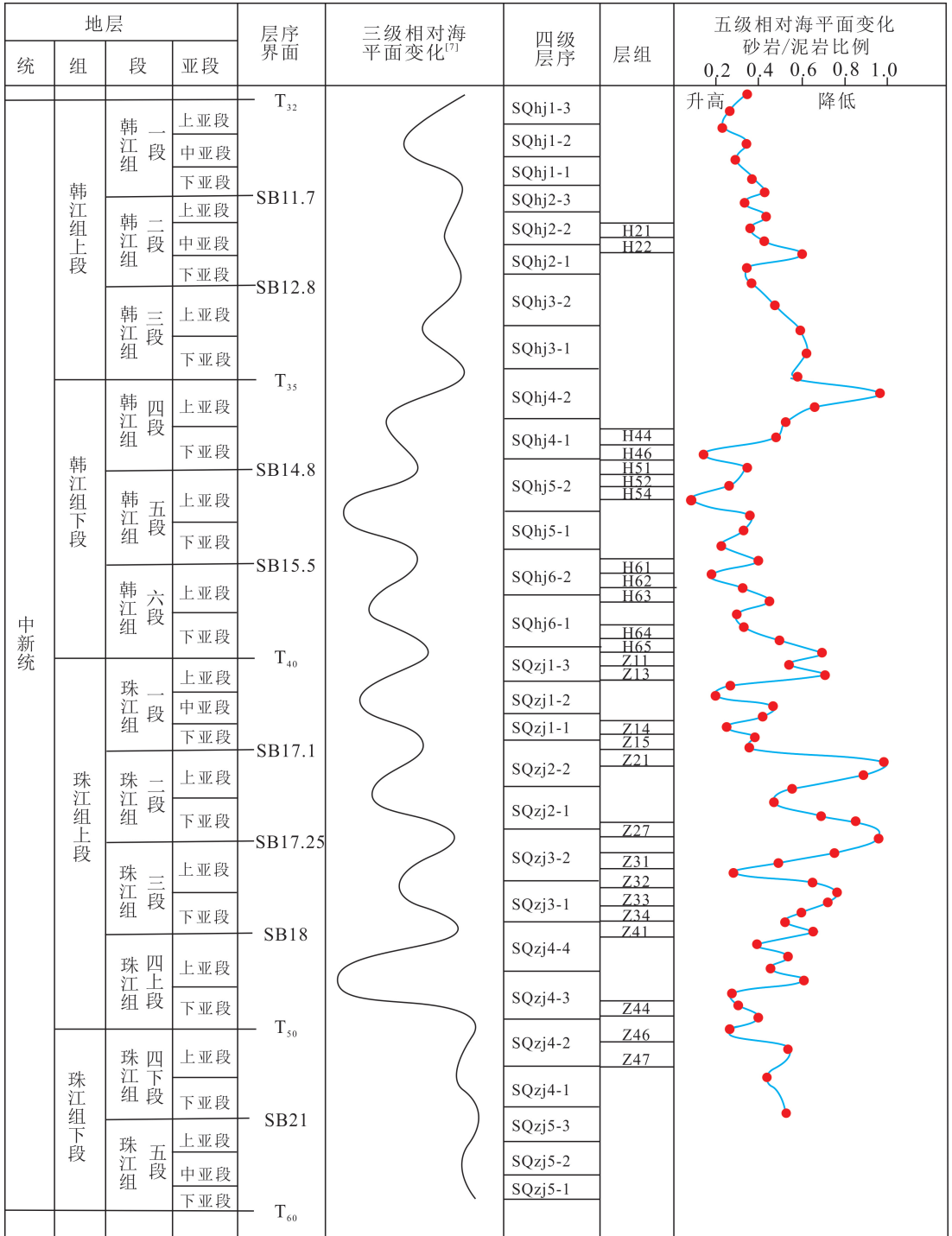
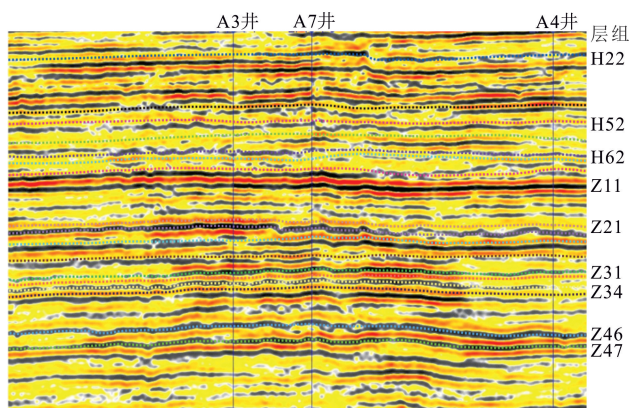


图 2 恩平凹陷 A 油田地层格架及相对海平面变化曲线

Fig.2 Stratigraphic framework and relative sea level change curve of Oilfield A in Enping sag



剖面位置见图 1。

图 3 研究区韩江组与珠江组的地震反射特征

Fig.3 Seismic reflection characteristics of Hanjiang Formation and Zhujiang Formation in the study area

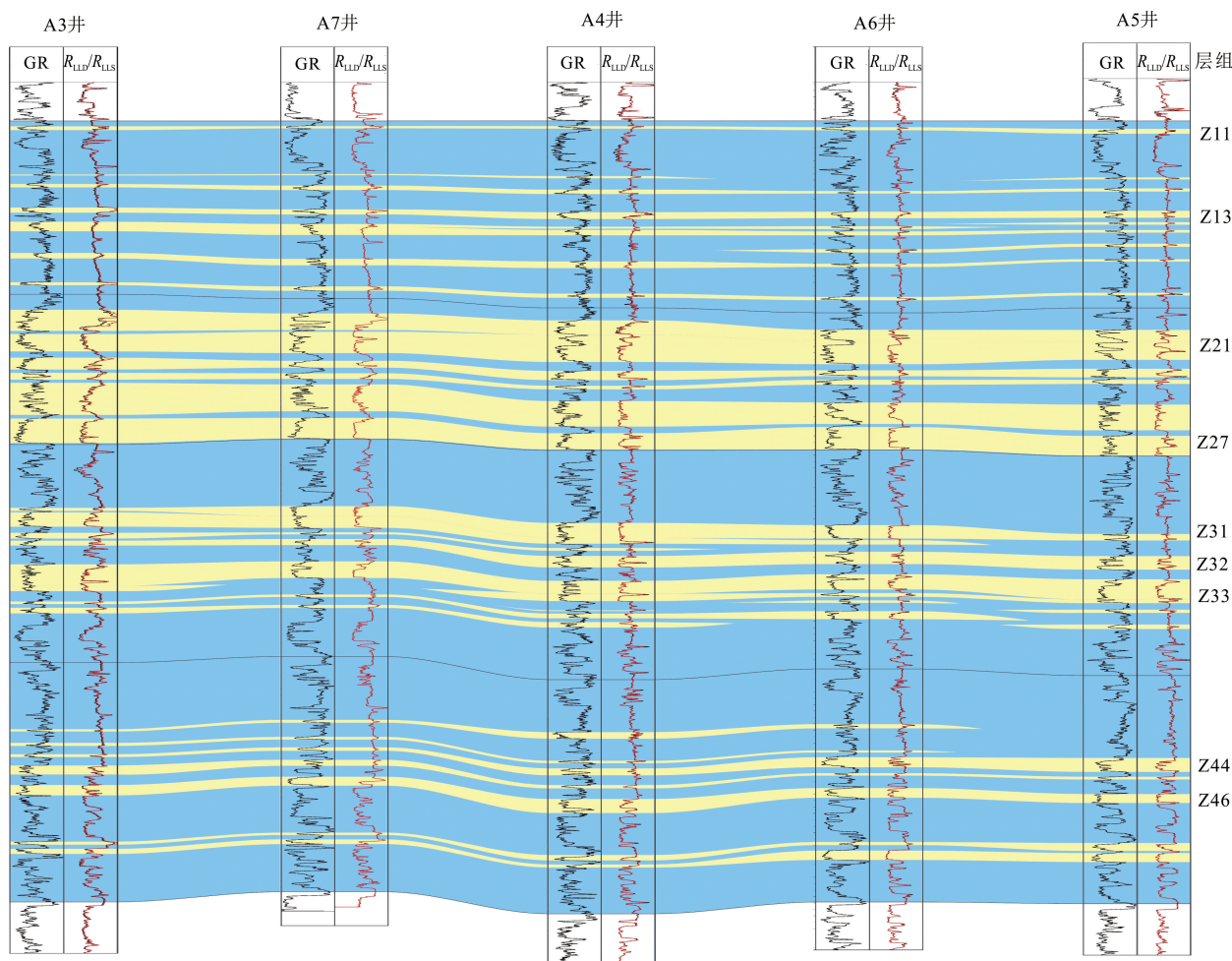
## 2 沉积相类型及其展布的确定

珠一坳陷韩江组和珠江组的沉积类型比较复杂。除了三角洲以外,还常见潮汐砂脊、潮控砂席<sup>[15,17-24]</sup>、浪控沿岸沙坝和席状砂<sup>[16]</sup>等,甚至在东沙隆起还发育碳酸盐台地<sup>[21]</sup>。不同区域的沉积微相明显不同。

### 2.1 岩心相

在恩平 A4 井的韩江组和珠江组取心段中,沉积微相类型有如下几种(图 5)。

1)分流河道:岩性以中粗砂岩为主,分选中等,粒度概率累积曲线以两段式或三段式为主,发育平行层理、底冲刷等单向流水沉积构造,可见磨圆的泥砾,内部可由多个几十厘米厚的正旋回组成,测井曲线为箱形或钟形。



GR. 自然伽马; $R_{LLD}$ . 深侧向电阻率; $R_{LLS}$ . 浅侧向电阻率。剖面位置见图 1。

图 4 研究区珠江组主力砂组连井剖面对比

Fig.4 Comparison of well connected profile of Zhujiang Formation in the study area

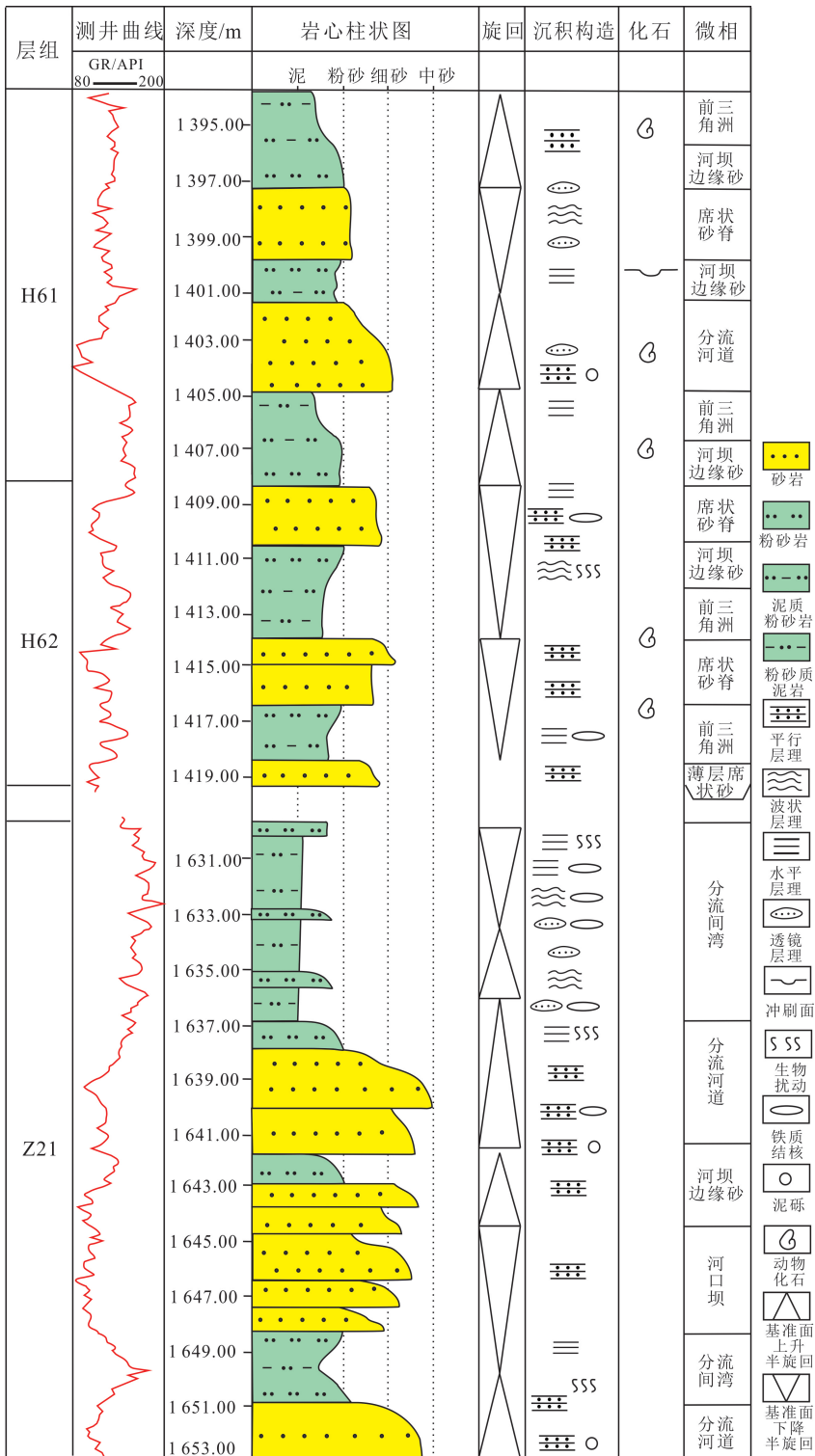


图 5 研究区 A4 井韩江组、珠江组取心段沉积相综合柱状图

Fig.5 Sedimentary facies of Well A4 in core section of Hanjiang Formation and Zhujiang Formation in the study area

2)河口坝:岩心上表现为反旋回,以中细砂岩为主,分选中等,粒度概率累积曲线为两段式,具有平行层理和不很清楚的交错层理,砂岩层厚度较大,测井曲线表现为弱齿化的漏斗形。

3)河坝边缘砂:此类砂体属于分流河道与河口坝周边受洪水影响形成的泛滥沉积,包括水下天然堤和决口扇等,往往由细砂岩、粉砂岩组成,夹于分流间湾泥岩中。粒度曲线表现为两段式,厚度小,具

有脉状等弱水动力下的层理,偶见生物碎屑,测井曲线上多表现为尖齿状。

4)席状砂:席状砂在岩心中最典型特征是砂岩中多含有一定量的生物碎屑。砂岩分选中等,生物碎屑磨圆程度偏差,粒度概率累积曲线多呈两段式或多段式,可见浪成砂纹层理,测井曲线多呈幅度较低的齿化漏斗形。按照砂岩厚度,席状砂可进一步分为席状砂脊和薄层席状砂。席状砂脊厚度大于 2 m,砂岩分选相对较好;薄层席状砂则属于席状砂脊周边或侧缘沉积,一般小于 2 m,砂层内往往有较多的泥岩夹层或泥质条带,砂岩粒度偏细或杂基体积分数高。

5)分流间湾:以浅灰色泥岩为主,有时为粉砂质泥岩,常夹洪水漫溢沉积的河坝边缘砂薄层。泥岩中发育水平层理、波状层理,可有钙质结核。

6)前三三角洲:以灰色、浅褐灰色泥岩和含钙泥岩

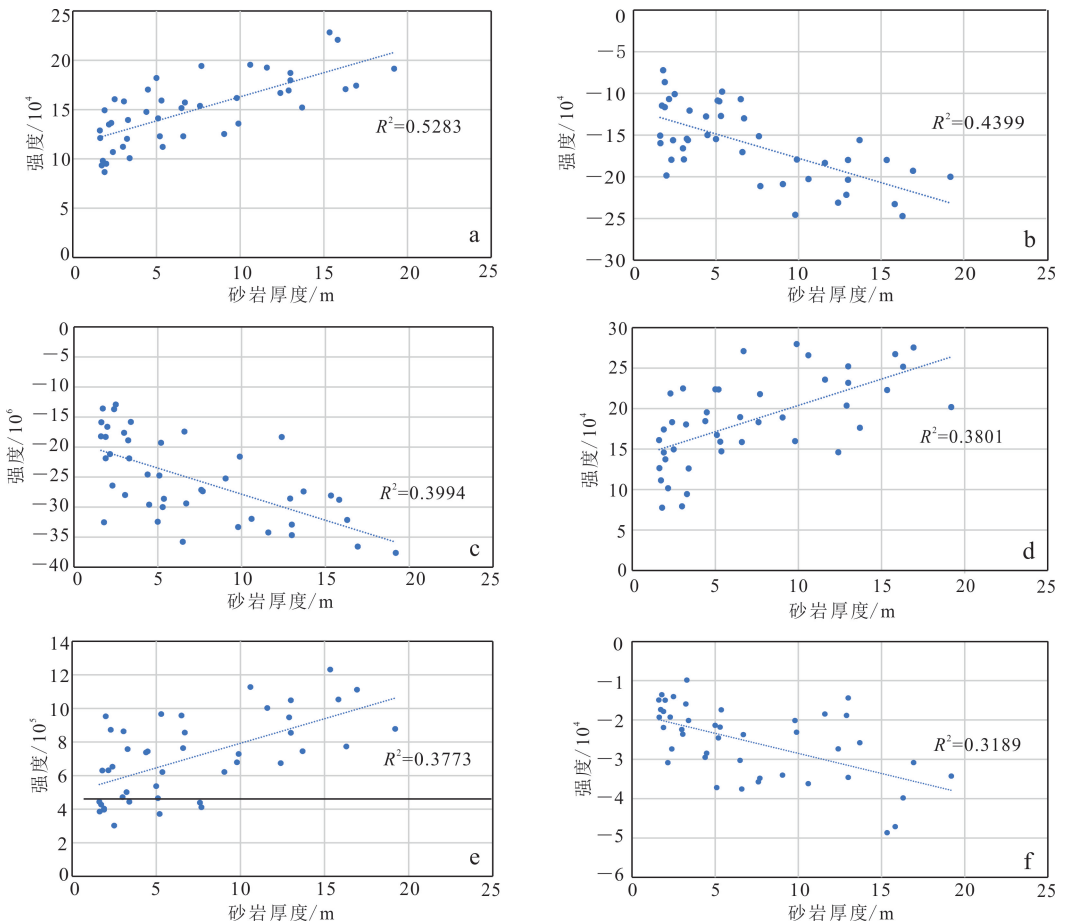
为主,垂向上与席状砂相邻。

从取心井段可以看出,研究区的韩江组和珠江组是一套以三角洲相为主的沉积体,在海洋的作用下,可能会发育波浪改造的席状砂等沉积类型。

### 2.2 地震相与沉积相平面展布

恩平 A 油田具有钻井偏少、井间距偏大、井控范围小的特点。在海上少井条件下,需要充分考虑区域地质背景、物源、沉积相特征,先通过地震-地质相结合,寻找出与井下砂厚或砂地比具有明显相关性的地震属性,然后利用地震沉积学的手段,确定各层段的平面砂体展布。

在地震精细解释基础上,通过沿层提取不同的地震属性,对比井点处各层砂体厚度与属性值之间的关系。统计结果表明,相比其他类型属性,振幅类属性与砂岩厚度有更好的相关性。其中,以均方根振幅和最小振幅相关系数最高(图 6)。



a. 均方根振幅(RMS)属性;b. 最小能量(min)属性;c. 频率衰减斜率(slope of frequency decay)属性;d. 复合绝对振幅(composite absolute amplitude)属性;e. 绝对振幅积分(integrated absolute amplitude)属性;f. 振幅斜率(amplitude slope)属性。

图 6 研究区常用的振幅属性与砂岩厚度相关性对比

Fig.6 Correlation between general amplitude attribute and sandstone thickness in the study area

在沉积相的平面展布方面,本文采取钻井约束下的地震沉积学分析方法,具体步骤为“井点定相、属性约厚、聚类划界、切片细刻”。即以区域沉积特征为背景,以钻井沉积微相为约束,用沿层均方根振幅属性刻画砂体平面厚度变化,用不同频率(30, 45, 60 Hz)的均方根属性聚类图划定沉积微相平面边界,再用沿层切片精细刻画沉积微相的平面细节。

以韩江组 H62 层组为例,其均方根振幅属性图显示强振幅区呈不同方向的条带状展布(图 7a)。由于研究区在古近纪处于古珠江三角洲的东南缘(图 1a),分流河道主要从恩平凹陷的北部或东北部进积到恩平 A 井区,所以在属性图上近南北向的条带状砂体应该代表以分流河道为主体的砂体(图 7b)。分流河道前方与分流河道方向垂直的片状或条带状砂体,应该归为被波浪改造的各种席状砂,按照厚度可细分成席状砂脊和薄层席状砂(图 7b)。

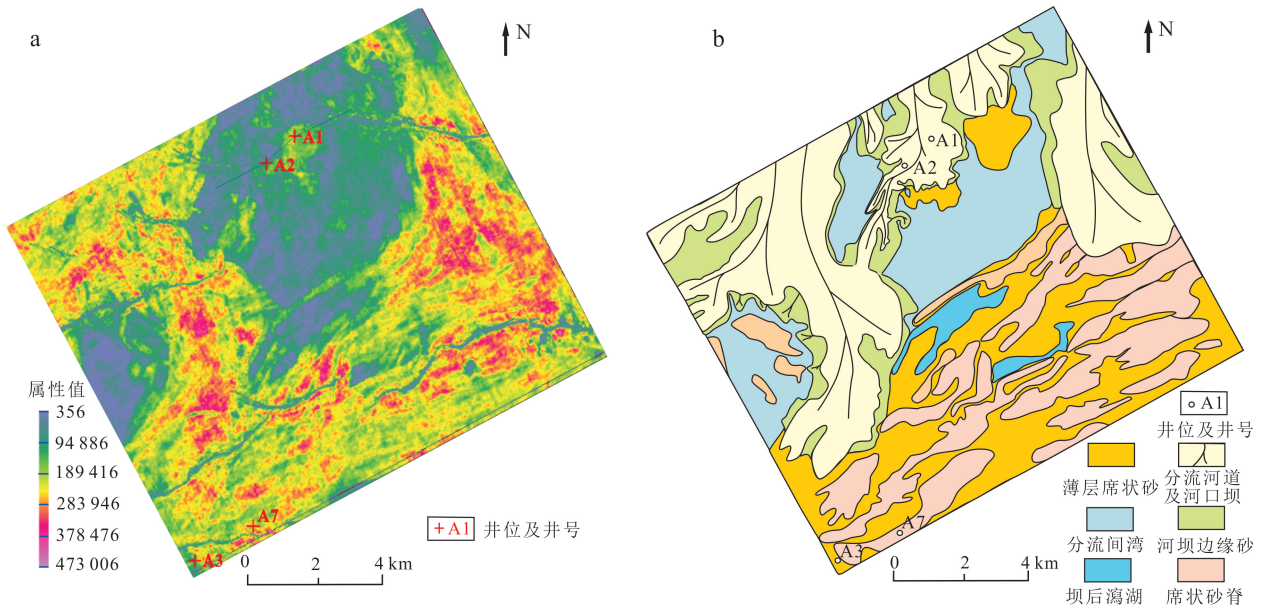
进一步结合测井曲线(图 5)分析可知:水下分流河道沉积的均方根振幅属性值高,钻井测井曲线 GR 值明显偏低,曲线呈箱形或钟形,厚度较大,砂岩体积分数高;河口坝的均方根振幅属性值较高,GR 曲线为齿化钟形、齿化漏斗形,可为正旋回或反旋回,厚度较大;河坝边缘砂的均方根振幅属性值较

低,GR 值较高,曲线多见梭形,厚度较薄,泥岩体积分数偏高;席状砂脊的均方根振幅属性值较高,GR 值略高,曲线齿化,厚度一般大于 2 m;薄层席状砂的均方根振幅属性值较低,GR 值略高,曲线齿化严重,厚度一般小于 2 m。故综合测井曲线特征、地震属性展布以及沉积背景分析,确定研究区韩江组主要发育分叉和合并频繁的水下分流河道、河坝边缘砂,三角洲远端则为各类席状砂沉积(图 7)。

### 3 海平面相对变化曲线对三角洲沉积演化的控制作用

通过研究区三角洲砂体进积、退积所得出的高频海平面升降曲线(图 2),对沉积微相的变化是否具有预测性,还需要进一步检验。

首先对研究区每个主力砂层组进行地震沉积学解释、井震结合和平面沉积相刻画,然后与本文精细表征出来的相对海平面变化曲线相对应。结果显示:精细表征出来的相对海平面变化与砂层组沉积相的变化具有很好的对应性。这种对应性主要体现在相对海平面变化清晰地体现了三角洲沉积微相的变化,也就是当相对海平面上升时,三角洲后退,研究区各类席状砂的范围变大;当海平面下降时,三角洲推进,研究区各类席状砂的范围变小(图 8)。



a. 均方根振幅(RMS)属性图; b. 沉积相平面展布图。

图 7 恩平 A 油田韩江组 H62 层地震属性与沉积相平面展布

Fig.7 Plane distribution of seismic attributes and sedimentary facies of Layer H62 of Hanjiang Formation of Oilfield A in Enping sag

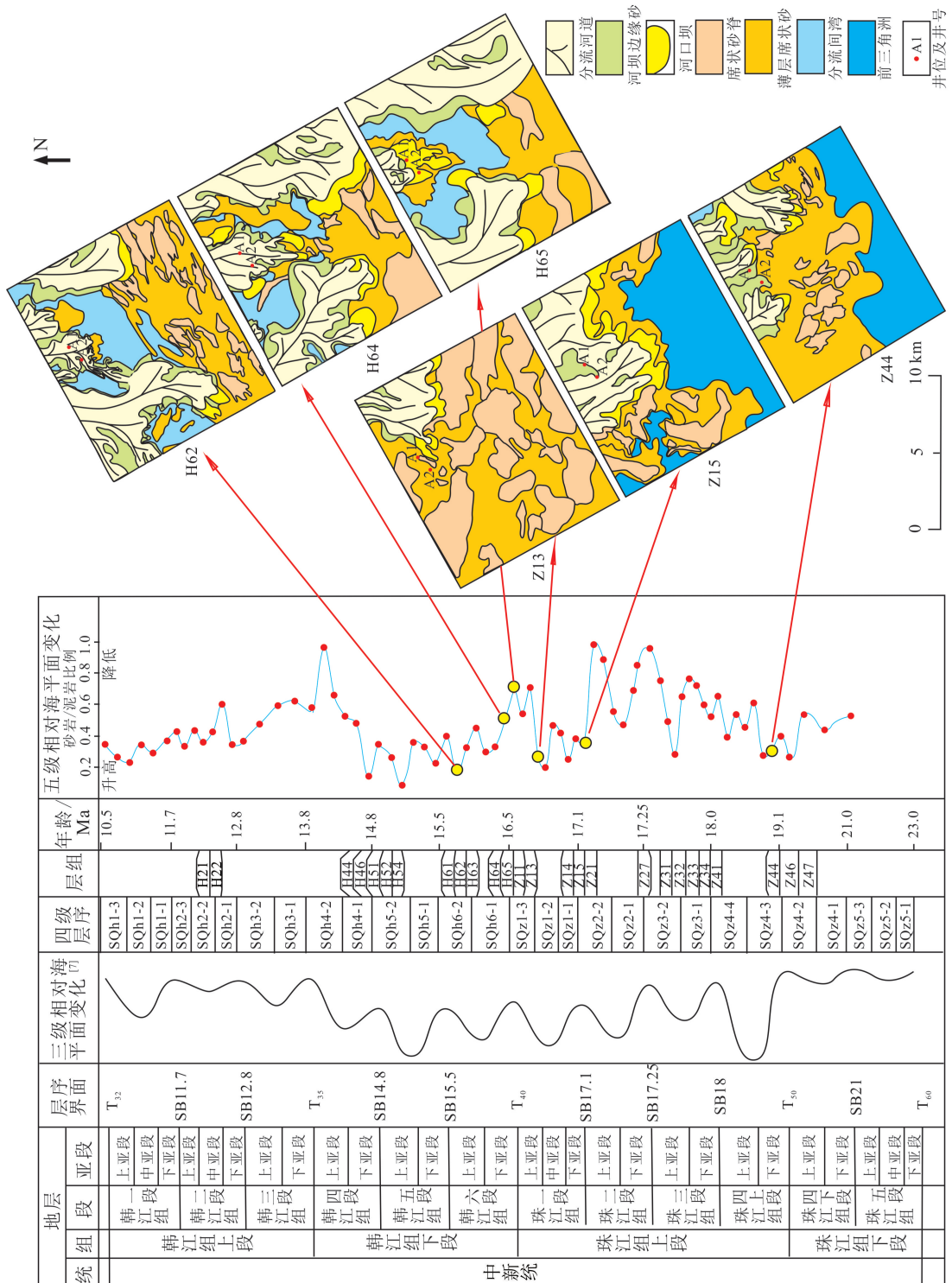


图 8 恩平 A 井区海平面相对变化与平面沉积微相的对应关系

Fig.8 Correspondence between sea level change and plane sedimentary microfacies of Oilfield A in Enping sag

恩平凹陷 A 油田韩江组和珠江组的油气主要富集于分流河道和河口坝主体区域的砂体中,在少数席状砂脊甚至薄层席状砂中也可以出现,但由于席状砂脊和薄层席状砂在空间上的侧向连通性差、内部钙质夹层多、物性差,一般来说并非是重点开发的目标层系。利用海平面相对变化曲线,可以比较准确地预测研究区韩江组和珠江组各层系席状砂与分流河道、河口坝的发育规模,甚至分布位置(图 8)。

此外,根据海平面相对变化的精细表征曲线,不仅可以判断恩平凹陷 A 油田韩江组和珠江组的三角洲、席状砂变化趋势和分布范围,还可以分析三角洲分流河道之间的连通关系。因为在三角洲前缘末端可容空间比较大,分流河道砂体与河口坝往往呈孤立的条带状发育,砂体之间的侧向连通性较差;而三角洲靠近陆地一侧的可容空间比较小,由于分流河道侧向迁移、叠加相对比较频繁,砂体之间的连通性一般较好,对于油气成藏和勘探开发更加有利。

## 4 结论

1)恩平凹陷 A 油田韩江组和珠江组沉积期处于古珠江三角洲前缘,地形坡度低缓,砂体的进积和退积主要受海平面升降的控制,据此可以在区域多井地层精细对比基础上,利用砂岩平均体积分数恢复沉积期的相对海平面升降变化。

2)通过岩心、地震属性的综合分析对比,明确恩平凹陷 A 油田韩江组和珠江组主要发育从北向南的三角洲前缘亚相,以水下分流河道、河口坝、各类席状砂为主。

3)相对海平面的升降明显控制了研究区三角洲的进积和退积,以及沉积微相的变化。当相对海平面上升时,古珠江三角洲后退,波浪改造的席状砂向陆地方向迁移;当相对海平面下降时,古珠江三角洲推进,波浪改造的席状砂向海洋方向迁移。由于可容空间的变化,相对海平面的升降会进一步造成储层砂体侧向上连通性的明显差异。

### 参考文献(References):

[1] 吴静. 珠江口盆地恩平凹陷北部隆起区油气远源富集与主控因素[J].地质科技通报, 2022, 41(4):117-124.  
Wu Jing. Key Factors of Far-Source Hydrocarbon Enrichment in the Northern Uplift Area of Enping Sag

in Pearl River Mouth Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41(4):117-124.

[2] 刘丽华,陈胜红,于水明,等. 恩平凹陷成藏条件分析及商业性突破[J].中国海上油气, 2011, 23(2):76-80.  
Liu Lihua, Chen Shenghong, Yu Shuiming, et al. Analyzing Conditions of Hydrocarbon Accumulation and a Commercial Breakthrough in Enping Sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(2): 76-80.

[3] 刘再生,施和生,杨少坤,等. 南海东部海域自营勘探实践与成效[J]. 中国海上油气, 2014,26(3):1-10.  
Liu Zaisheng, Shi Hesheng, Yang Shaokun, et al. The Practice of Self-Operated Exploration and Its Achievements in the Eastern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(3):1-10.

[4] 朱定伟,彭光荣,张忠涛,等. 珠江口盆地恩平凹陷北部披覆带油气成藏条件[J].中国海上油气,2022,34(1):36-44.  
Zhu Dingwei, Peng Guangrong, Zhang Zhongtao, et al. Hydrocarbon Accumulation Conditions in Drape Structure Zone North of Enping Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2022, 34(1): 36-44.

[5] 向巧维. 恩平凹陷新近系韩江组沉积微相及岩性圈闭类型[J]. 海洋地质前沿,2022,38(5):60-66.  
Xiang Qiaowei. Sedimentary Microfacies and Lithologic Trap Types of Neogene Hanjiang Formation in Enping Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(5): 60-66.

[6] 李智高,丁琳,李小平,等. 珠江口盆地珠一坳陷西部中新世早—中期沉积特征及控制因素[J]. 古地理学报, 2022, 24(1): 99-111.  
Li Zhigao, Ding Lin, Li Xiaoping, et al. Sedimentary Characteristics and Controlling Factors of the Western Zhu I Epression During the Early-Middle Miocene, Pearl River Mouth Basin [ J ]. Journal of Palaeogeography, 2022, 24(1): 99-111.

[7] 吴静,张晓钊,白海军,等. 珠江口盆地阳江凹陷中新统潮控体系及其岩性圈闭勘探意义[J]. 地球科学, 2021,46(10):3673-3689.  
Wu Jing, Zhang Xiaozhao, Bai Haijun, et al. Miocene Tidal Control System and Its Exploration Significance of Lithologic Trap in Yangjiang Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science, 2021,46(10):3673-3689.

[8] 刘强,汤民强,贺惠忠,等. 广东阳西沙扒海域埋藏古河道沉积特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2022, 52(6):1791-1799.

- Liu Qiang, Tang Minqiang, He Huizhong, et al. Sedimentary Characteristics of Buried Ancient Channels in Shapa Area of Yangxi, Guangdong Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(6):1791-1799.
- [9] 韩睿,张尚峰,罗顺社,等. 碎屑岩与碳酸盐岩混合沉积模式:以新疆塔西南地区上石炭统卡拉乌依组为例[J]. 断块油气田,2023, 30(2):269-276.
- Han Rui, Zhang Shangfeng, Luo Shunshe, et al. Mixed Sedimentary Model of Clastic Rocks and Carbonate Rocks: A Case Study of Karawuyi Formation of Upper Carboniferous in Southwest Tarim, Xinjiang [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2023, 30(2):269-276.
- [10] 梁岳立,赵晓明,张喜,等. 轨道周期约束下海-陆过渡相页岩层系高精度层序界面识别及其地质意义:以鄂尔多斯盆地东缘二叠系山西组 23 亚段为例[J]. 石油与天然气地质,2023,44(5):1231-1242.
- Liang Yueli, Zhao Xiaoming, Zhang Xi, et al. Orbital Forced High-Resolution Sequence Boundary Identification of Marine-Continental Transitional Shale and Its Geological Significance: A Case in Shan 23 Sub-Member at the Eastern Margin of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology,2023,44(5): 1231-1242.
- [11] 李红佼,张廷山,张喜,等. 天文轨道周期调制的海平面变化对生物礁发育的影响:以川东北地区晚二叠世长兴期为例[J].断块油气田,2023,30(1): 52-59.
- Li Hongjiao, Zhang Tingshan, Zhang Xi, et al. Effects of Sea Level Change Modulated by Astronomical Orbital Period on Organic Reefs Development: A Case Study of Late Permian Changxing in Northeast Sichuan[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2023,30(1):52-59.
- [12] 张晓钊,吴静,彭光荣,等. 恩平凹陷南带中新统河流-波浪联控沉积体系及其意义[J]. 岩性油气藏,2022, 34(2):95-104.
- Zhang Xiaozhao, Wu Jing, Peng Guangrong, et al. Miocene River-Wave Dominated Sedimentary System in South Belt of Enping Sag and Its Significance[J]. Lithologic Reservoirs, 2022, 34(2):95-104.
- [13] 朱锐,张昌民,杜家元,等. 珠江口盆地新近纪海平面升降过程及其对砂体的控制[J]. 高校地质学报, 2015, 21(4):685-693.
- Zhu Rui, Zhang Changmin, Du Jiayuan, et al. Controls of Neogene Sea Level Change on Sand Bodies in the Pearl River Mouth Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2015, 21(4): 685-693.
- [14] 马道修,徐明广,周青伟,等. 珠江三角洲沉积相序[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1988,8(1):43-53.
- Ma Daoxiu, Xu Mingguang, Zhou Qingwei, et al. Sedimentary Facies Sequence of the Pearl River Delta [J]. Marine Geology & Quaternary Geology,1988, 8(1): 43-53.
- [15] 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 the Eastern Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(3): 11-22.
- [16] 陈维涛,孙珍,何敏,等. 珠江口盆地中中新世 SQ14.8 层序-沉积演化及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学,2021,45(5):875-891.
- Chen Weitao, Sun Zhen, He Min, et al. The Mid-Miocene Stratigraphic-Depositional Evolution Recorded by the SQ14.8 Layer in Pearl River Mouth Basin and Its Geological Significances [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2021,45(5):875-891.
- [17] 石国平. 珠江口盆地地下中新早期的水下潮汐三角洲[J]. 沉积学报,1989,7(1):135-142.
- Shi Guoping. Subaqueous Tidal Delta of Zhujiang Basin in the Early Lower Miocene [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1989, 7(1): 135-142.
- [18] 朱俊杰,张尚锋,朱锐,等. 珠江口盆地番禺低隆起 A 井区珠海组沉积研究[J]. 长江大学学报(自然科学版),2011,8(2):20-22.
- Zhu Junjie, Zhang Shangfeng, Zhu Rui, et al. Deposition Characteristics of Zhuhai Formation of Wellblock A in Panyu Low Uplift of Pearl-River Mouth Basin [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2011, 8(2): 20-22.
- [19] 余海波. 珠江口盆地惠州地区新近系潮汐影响的三角洲沉积[D]. 荆州:长江大学,2012.
- Yu Haibo. Tide-Influenced Delta Sediment of Neogene in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2012.
- [20] 陈容涛,张尚锋,朱锐,等. 珠江口盆地西江凹陷 X 井区珠海组沉积特征分析[J]. 长江大学学报(自然科学版),2011, 8(1): 61-63.
- Chen Rongtao, Zhang Shangfeng, Zhu Rui, et al. Sedimentary Characteristics of Zhuhai Formation Well X in Xijiang Depression of Pearl-River Mouth Basin[J]. Journal of Yangtze University (Natural

- Science Edition), 2011, 8(1): 61 - 63.
- [21] 张向涛, 杜家元, 丁琳, 等. 不同水动力机制下砂体沉积响应及岩性圈闭形成模式[J]. 石油学报, 2019, 40 (增刊 1): 105 - 114.
- Zhang Xiangtao, Du Jiayuan, Ding Lin, et al. Sedimentary Response of Sand Body and Formation Models of Lithologic Traps Under Different Hydrodynamic Conditions [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40 (Sup.1): 105 - 114.
- [22] 汪成, 陈冬霞, 李洪博, 等. 珠江口盆地陆丰凹陷深部储层原生孔隙特征及发育机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(1): 44 - 59.
- Wang Cheng, Chen Dongxia, Li Hongbo, et al. Characteristics and Development Mechanism of Primary Pores in Deep Burial Reservoirs in Lufeng Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2023, 53(1): 44 - 59.
- [23] 单玄龙, 热西提·亚力坤, 刘培, 等. 珠江口盆地西江主洼珠琼运动的沉积响应及构造意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(2): 329 - 342.
- Shan Xuanlong, Rexiti Yalikun, Liu Pei, et al. Sedimentary Response and Tectonic Significance of Zhuqiong Movement in Xijiang Main Depression of the Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2023, 53(2): 329 - 342.
- [24] 雷永昌, 赵鹏, 肖张波, 等. 珠江口盆地陆丰凹陷陆丰 15 洼与 22 洼古近系文昌组源-汇系统与沉积演化[J]. 世界地质, 2023, 42(3): 501 - 515.
- Lei Yongchang, Zhao Peng, Xiao Zhangbo, et al. Source to Sink System and Sedimentary Evolution of Paleogene Wenchang Formation in Lufeng 15 and 22 Sags, Lufeng Depression, Pearl River Mouth Basin [J]. World Geology, 2023, 42(3): 501 - 515.