

doi:10.3799/dqkx.2010.083

# 南海白云凹陷深水区渐新世—中新世 陆架边缘三角洲形成及演化

吴景富<sup>1</sup>, 徐 强<sup>2</sup>, 祝彦贺<sup>2</sup>

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中海石油研究中心, 北京 100027

**摘要:** 南海白云凹陷深水区渐新世—中新世沉积特征对深水油气勘探具有非常重要的意义, 中中新世发育的陆架边缘三角洲与南海陆坡深水沉积体系有特殊的三级“源—汇”响应关系。研究基于近期新钻井、精细三维地震资料解释, 进一步揭示了陆架边缘三角洲的形成、演化, 及其对陆坡深水重力流沉积形成的“源”控作用。渐新世该陆架边缘三角洲主要形成于层序低位期晚期, 以三角洲前缘沉积为主, 在陆架断阶坡折控制下呈“S”型向陆坡生长。中新世自外陆架到上陆坡的延伸空间内, 沉积机理发生改变, 由牵引流向重力流发生变化, 在白云凹陷内形成陆坡复合水道、重力流沉积, 并有东沙隆起的碳酸盐岩短轴物源耦合, 形成双(多)物源控制的混合沉积。这种沉积演化特征受控于陆架边缘三角洲发育和陆架断阶坡折带的演化, 形成陆架边缘三角洲和深水储集体特殊分布。因此, 白云凹陷深水区油气勘探要注重陆架边缘三角洲形成、演化、分布及其与深水沉积体三级“源—汇”响应。

**关键词:** 白云凹陷; 渐新世—中新世; 陆架边缘三角洲; 双物源; 陆架断阶坡折。

中图分类号: P539.2; P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2010)04-0681-10

收稿日期: 2010-02-26

## Generation and Evolution of the Shelf-Edge Delta in Oligocene and Miocene of Baiyun Sag in the South China Sea

WU Jing-fu<sup>1</sup>, XU Qiang<sup>2</sup>, ZHU Yan-he<sup>2</sup>

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, MOE, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. CNOOC Research Center, Beijing 100027, China

**Abstract:** Sedimentary characteristics of Baiyun sag in Oligocene and Miocene play an important role in deep-water oil and gas exploration in South China Sea, among which there is a special three-order “source to sink” relationship between shelf-edge delta and slope sedimentary systems. Based on recent cores and exact 3D seismic interpretation, we find out how shelf-edge delta formed and how it evolved, and we also find out that the “source” of the shelf-edge delta controlled deep-water gravity flow. The shelf-edge delta generated in late of LST in Oligocene, and delta front is the main component, shelf-edge fault controlled its development and delta progressed as “S”. On the other hand, between outer shelf and upper slope the sedimentation mechanism changed from tractive current to gravity flow in Miocene. Slope complex channels and gravity flow settings accumulated in Baiyun sag, meanwhile, proximal carbonate rocks from Dongsha uplift blended, so clastic rocks and carbonate rocks mixed. This kind of sedimentary characteristic is controlled by the development of shelf-edge delta and shelf-edge fault, which dominates the distribution of shelf-edge delta and deep-water reservoirs. Therefore, we should pay more attention to formation, evolution and distribution of shelf-edge delta, and its three-order “source to sink” response to deep-water sediment in oil and gas exploration of Baiyun sag.

**Key words:** Baiyun sag; Oligocene and Miocene; shelf-edge delta; double sources; shelf break.

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(No. 2009CB219400)。

作者简介:吴景富(1962—),男,高级工程师,中国地质大学(武汉)在读博士研究生,主要从事海洋石油天然气勘探和深水油气地质的相关研究工作。E-mail: wujf1@cnooc.com.cn

0 引言

珠江口盆地白云凹陷深水区位于盆地南部珠江坳陷内,海水深度为200~2 000 m,是南海北部新生代深水陆坡沉积区。其北部边界为番禺低隆起,东部边界为东沙隆起,西侧为云开低凸起,南界为南部隆起带(图1)。白云凹陷深水区渐新世—中新世沉积具有重要的深水油气勘探意义,2006年4月我国第一口水深达1 480 m的探井LW3-1-1勘探成功,主要勘探目的层系为中新世珠江组底部和渐新世珠海组。珠江组底部见鲍玛序列大套块状中—粗砂岩,初步判断为深水重力流沉积,珠海组发现大量浪成砂纹层理、板状交错层理、生物扰动等浅水陆架特征,砂岩储层初步判断为三角洲前缘沉积(姚伯初等,2004;邵磊等,2009;孙龙涛等,2010)。

近年来,随着浅海油气勘探程度的逐渐加深,浅海陆架已经较难满足日渐增多的油气资源需求,油气勘探逐渐向深水区扩展,鉴于深水勘探的高昂成本,能否在深水区找到大型储集体是决定深水勘探成败的关键之一。而向深水区扩展过程中发育于陆架和陆坡间的陆架边缘三角洲是大型储集体之一,其日渐引起石油地质学家的重视(Mayall *et al.*, 1992; Sydow and Roberts, 1994; Burgess and Ho-  
vius, 1998; Roberts *et al.*, 2003; Petter and Steel, 2006; Covault *et al.*, 2009),并成为当前深

水勘探和国际学术研究的热点。

陆架边缘三角洲指发育于大陆架边缘的特殊大陆架三角洲,其越过大陆架坡折向陆坡延伸,随着物源不断向陆坡方向推进,大陆架坡折也逐渐向远陆方向迁移,大陆架的坡度一般小于 $1^{\circ}$ ,大陆坡坡度一般为 $3^{\circ}\sim 6^{\circ}$ ,最高可达 $8^{\circ}$ (Porebski and Steel, 2003). 碎屑物在向大陆坡方向搬运的过程中,形成发育于大陆架边缘上的巨厚前缘沉积层,由于断裂活动、物源供给等因素的影响,相当一部分沉积物会在自身重力的作用下越过大陆架坡折发生再沉积,成为深水区沉积物源的主导. 本文将在断阶大陆架坡折控制下,以近期新钻井资料、精细沉积分析和三维地震资料研究渐新世—中新世大陆架边缘三角洲形成演化,为在白云凹陷寻找深水大型储集体和为深水油气勘探提供依据.

## 1 白云凹陷深水区中新世陆架边缘三角洲沉积特点

## 1.1 陆架边缘三角洲发育条件及形态

陆架边缘三角洲的发育条件错综复杂,首先,通过二维地震测线,对陆架长度和坡度进行统计,南海北部陆架平均坡度 $<1^\circ$ ,陆架宽度 $>100\text{ km}$ ,这种条件利于陆架边缘三角洲的发育;其次,从径流量、发育时间、古珠江流域和含砂率分析,陆架边缘的河流面积涉及中国西南大部分区域,以大面积的砂砾岩

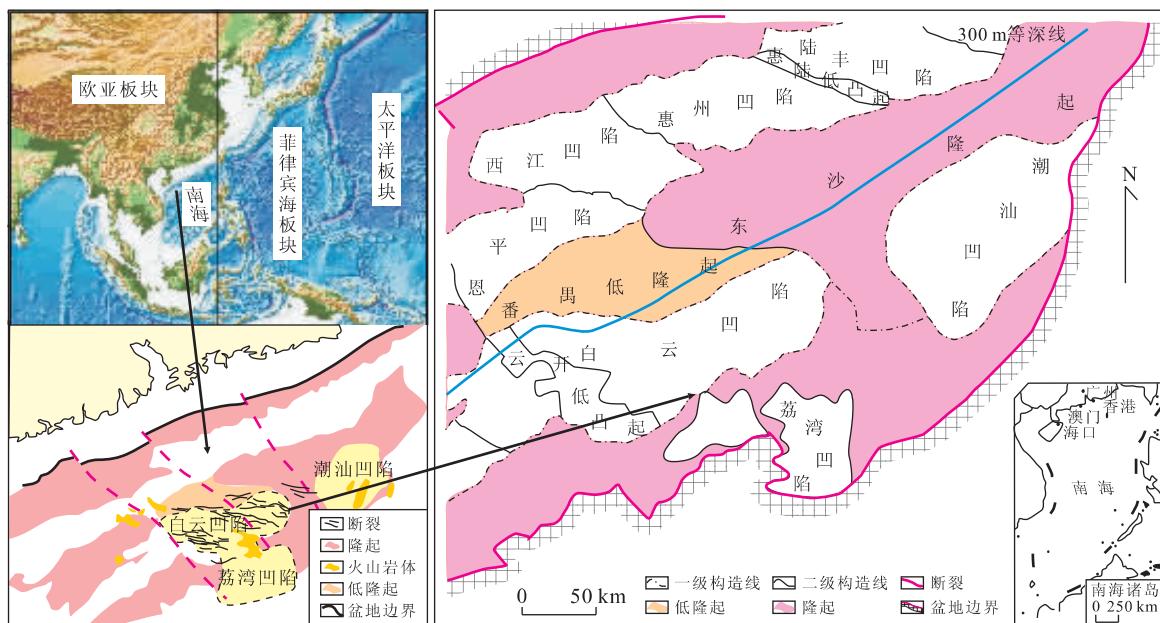


图 1 南海珠江口盆地白云凹陷构造位置

Fig. 1 Location of Baiyun sag of the Pearl River Mouth basin in South China Sea

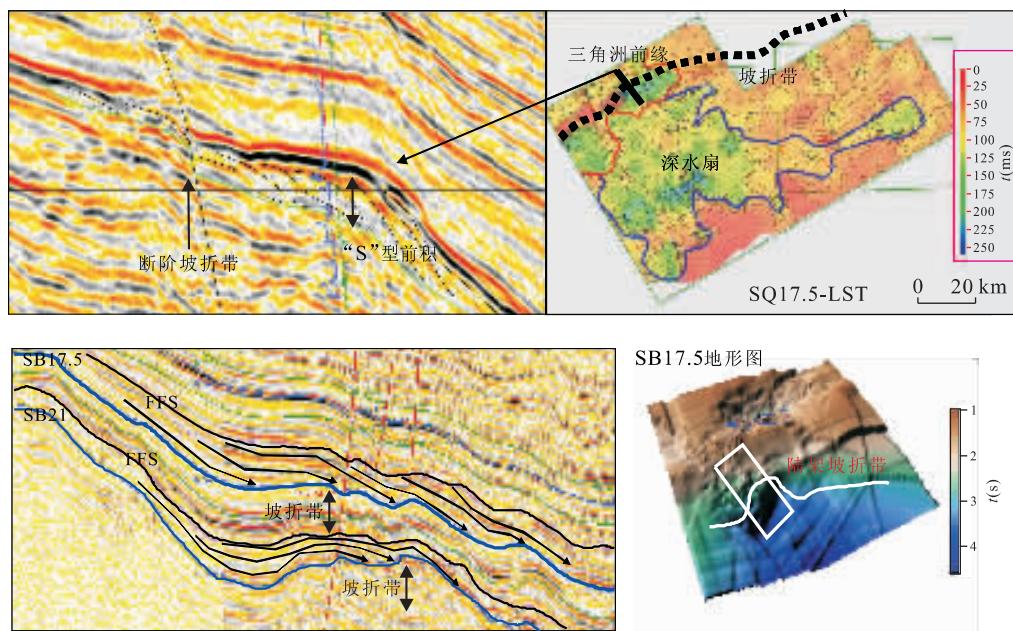


图2 陆架边缘三角洲的形态及垂向生长特征(以珠江组SQ17.5为例)

Fig. 2 Characteristics of upgrowth and shape of shelf-edge delta

沉积为主,垂向厚度大,表明渐新—中新世的陆相碎屑物源供给充沛,同时,中新世各层序的陆架断阶坡折带亦有快速迁移的特征(Porebski and Steel, 2001; 庞雄等, 2007a, 2007b; 孙珍等, 2009)。在断阶坡折控制的陆架边缘处,由于上、下盘的可容空间变化,三角洲沉积变厚,断裂静止期,前缘不断进积,越过坡折,形成陆架边缘三角洲,之后的活动期促使前缘向陆坡方向滑塌,形成陆坡深水沉积体系。

通过对新钻探的6口井三角洲前积沉积在体系中位置的统计,同时结合前人研究成果,认为古珠江三角洲演化为陆架边缘三角洲的时期主要为各层序低位期的晚期(Plint-Björklund *et al.*, 2001; 武强等, 2005; 郭秀蓉等, 2006)。此时,相对海平面缓慢上升到陆架坡折附近,在番禺低隆起的西南部为低构造幅度带,可容空间大,成为三角洲沉积的主体发育部位,三角洲从低位期前期的河道下切作用演变为前缘的河口坝沉积,向海、向陆沉积变薄,呈丘状,并靠近陆架坡折发育,呈“S”型前积向陆坡迁移,同时以不断加厚的前缘带发育为主要特征,并在陆架坡折带两侧分布,沉积主体在陆架坡折带向陆坡一侧,巨厚的前缘带向海一侧形成具有一定坡度的小型沉积坡折(图2)。

## 1.2 陆架边缘三角洲的沉积序列

陆架边缘三角洲在地震资料上显示巨大的差异,坡折之上是薄层的平原沉积,坡折带和坡折之下是厚层的前缘沉积,同时在钻井垂向沉积序列上见

到多期反旋回的三角洲前缘带叠置。中新世珠江组SQ23.8低位期,自陆架向陆坡的钻井显示该特征,低位期初期,三角洲以平原相的河道下切为主要特征,之后相对海平面上升使前缘带开始发育,而且含砂率高、沉积厚,以河口坝沉积为主,向陆的三角洲平原以河道和泛滥平原为主,越过断阶坡折后的三角洲前缘带继续沉积,直到发生重力作用的再沉积(图3)。综上可以看出,陆架边缘三角洲的垂向沉积序列具有明显的区域分带性:内陆架区以浅水的平原河道沉积为主,发育砂砾岩沉积和泛滥平原的泥岩,中陆架和陆架坡折带周边以三角洲前缘河口坝沉积为主,形成多套的反旋回叠置,陆坡内则以前缘滑塌和重力流沉积为主。

### 1.2.1 白云凹陷深水区渐新世主要发育陆架边缘三角洲前缘沉积

近期对白云凹陷深水区进行了一系列钻探,通过钻井资料可以对白云凹陷珠海组陆架边缘三角洲沉积特征进行详细分析。该沉积特征主要表现为2种沉积演化序列。

(1)连续进积型三角洲沉积演化序列。LWXX钻井的珠海组上部第二和第三回次取心段都为连续进积型三角洲沉积演化序列(图4)。单井沉积表现出由前三角洲→三角洲前缘组成连续的进积序列,主要出现在高位体系域,发育的河口坝砂体大部分出现在沉积演化序列的中部,中、上部以发育水下分流河道砂体为主,顶部往往为大型底冲刷面或暴露面。

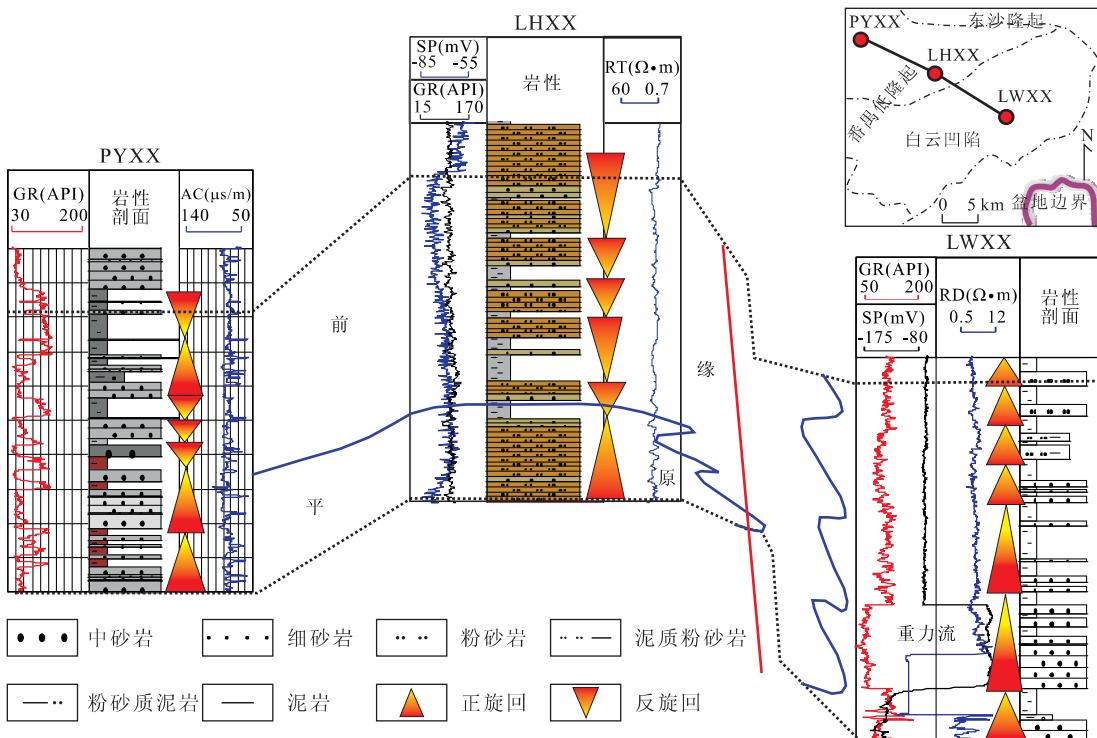


图 3 陆架边缘三角洲的垂向沉积序列(以珠江组 SQ23.8 低位期为例)

Fig. 3 Sedimentary sequence of shelf-edge delta

第二回次取心段钻厚 28.05 m, 层位为渐新统珠海组。上部主要为浅灰色中—细和粉—细粒岩屑长石砂岩, 普遍含深灰色泥质纹层, 具板状交错层理, 少量钙质胶结斑块, 具向上略变细的正粒序, 底冲刷、生物扰动、钻孔和巨型潜穴构造等发育, 主要属于三角洲水下分流河道沉积。中下部主要为灰色泥质粉砂岩, 局部夹深灰色纹层状粉砂质泥岩, 生物扰动、钻孔与变形构造发育, 顶部粉砂含量明显向上增多, 渐变为河口坝的逆粒序结构清晰, 属于三角洲前缘远砂坝—河口坝沉积产物。下部发育深灰色纹层状、条带状含粉砂质泥岩, 底为浅灰色粉—细粒砂岩。底部夹滑动、变形和撕裂而成的砾状泥质粉砂岩, 局部富含黄铁矿、菱铁矿和钙质结核, 还发育有密集的生物扰动和钻孔, 局部见泄水成因碟状构造, 变形强烈, 属于远砂坝—前三角洲过渡带沉积产物。

(2) 连续退积型三角洲沉积演化序列。由三角洲前缘→前三角洲→浅海陆棚组成连续海侵的进积→加积→退积型三角洲沉积演化序列, 发育于 LWXX 钻井的珠海组下部第四回次取心段。

第四回次取心段钻厚 25.7 m, 层位为渐新统珠江组, 上部主要为灰黑色泥岩, 含少量生物碎片和变形条带状粉砂岩, 少量浅灰色粉砂纹层和一些细小的薄壳软体动物化石和生物碎片, 发育水平层理, 粉

砂岩发育包卷层理且强烈钙化。产克鲁兹遗迹相组合的 *Phycosiphon*、*Planolites*、*Ophiomorpha* 和 *Chondrites* 遗迹化石, 局部具有不明显生物扰动构造, 属较深水浅海沉积。中部主要为灰色中—粗粒岩屑石英砂岩, 砂岩具底部冲刷、块状层理、变形层理和平行层理及正粒序结构, 最大单砂层厚度为 30 cm。生物扰动中等, 顶部相对较发育。砂岩中可鉴别的遗迹化石有: *Ophiomorpha*、*Palaeophycus*、*Macaronichnus*、*Astersoma*、*Cylindrichnus* 和 *Roselia*, 为能量较高的针管迹组合。出现微型同生断层, 断距 2.5 cm, 主要属于三角洲前缘河口坝沉积。下部主要为灰褐色粉砂质泥岩夹灰白色粉—细粒砂岩, 发育由细变粗的逆粒序, 并夹有一套滑塌成因的同生砾岩。生物钻孔和大型虫管、液化揉皱和褶曲旋转、泄水和砂球等变形构造发育, 遗迹化石丰富, 鉴定的属种有: *Zoophycus*、*Chondrites*、*Teichichnus*、*Scolicia*、*Cylindrichnus*、*Schaub Cylindrichnus*、*Schaub Cylindrichnus Freyii*、*Astersoma*、*Thalassinoides*、*Planolites*、*Phycosiphon* 和 *Palaeophycus*, 属于克鲁兹迹和针管迹的混合遗迹相组合, 为三角洲前缘远砂坝沉积。

### 1.2.2 中新世发育外浅海—上中陆坡复合水道、浊积沉积、混合沉积

通过 LWXX 钻井第一回次岩心

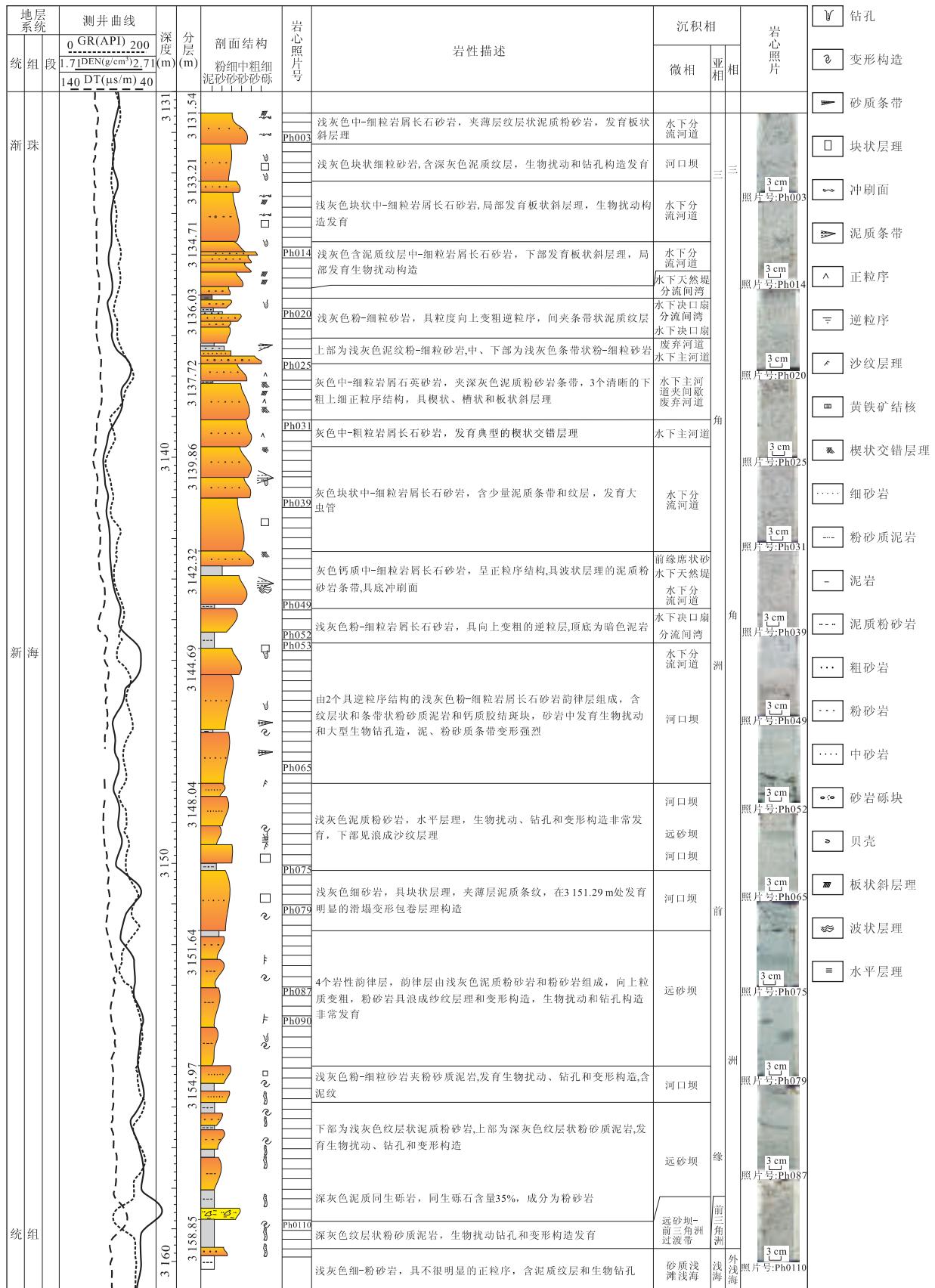


图4 珠海组第二回次岩心段连续进积型三角洲前缘沉积序列

Fig. 4 Sedimentary sequence of progressive delta front showed by second core in Zhuhai Formation

精细描述和分析,白云凹陷深水区珠江组为一套上中陆坡复合水道、浊积沉积和混合沉积。

第一回次取心段层位为下中新统珠江组,钻厚 22.70 m,上部主要为深灰色、灰色泥岩、粉砂质泥岩,泥岩中生物扰动和变形纹层构造发育,有孔虫等化石发育,偶见结核,还有一次风暴沉积,主要为前陆架边缘三角洲斜坡沉积。中部主要为灰色中—细粒、中—粗粒和粗粒岩屑长石砂岩,主要发育块状构造,含有菱铁矿结核,发育有网状成岩裂缝。较粗粒砂岩中的生物碎片和小泥砾含量较高,较大的浅水贝壳碎片也广泛分布于此段砂岩中,大部分小泥砾和贝壳碎片长约 0.5 cm,沿层面呈线状分布,可见有二次碳酸盐岩与碎屑岩的混积过程,由贝壳生屑含量变化显示出逆—正粒序结构,属于斜坡扇内扇水道砂质碎屑流—浊流沉积。LWXX 钻井 3 074.78 m 粒度累积曲线和概率累积曲线以跳跃总体为主,反映出明显与牵引力有关系的多次早期沉积再改造过程,即是陆架边缘三角洲前缘沉积为上—中斜坡的颗粒流—浊流沉积提供了物源,反映出陆架边缘三角洲与上—中斜坡深水沉积的三级“源—汇”关系,而粒度累积曲线有一定负偏反映与海关系密切。下部主要为深灰褐色泥岩,夹 mm—cm 级浅褐黄色、浅褐灰色细粒岩屑长石砂岩不规则条带,发育不规则纹理,铁质—泥质结核较发育,粒径 1 cm 以下,呈不规则状—长条状,见有孔虫化石和碎片,下部见钙质结核,泥岩具变形层理,为斜坡沉积。

从 LWXX 钻井单井分析可以看出,珠海—珠江组井上沉积序列反映出三角洲加积—前积特征,且发育 5 次该特征三角洲旋回,统计表明三角洲旋回主要发育在低水位体系域,与世界典型的陆架边缘三角洲沉积特征可以很好地对比,不发育三角洲平原;三角洲就位于陆架边缘,三角洲前缘沉积发育,通常可以看到浊流砂体、重力滑塌、生长断层和泥底辟沉积(Porebski and Steel, 2003)。

珠海组陆架边缘三角洲沉积受物源、区域性海平面升降控制,主要表现为:(1)海平面上升初期物源供给充沛,以发育低位体系域进积型海相三角洲沉积体系为主(如第二回次井段和第三回次井段);(2)海平面上升中期物源供给逐渐进入弱欠补偿状态,以广泛发育海侵体系域退积型海相三角洲为特征,海平面进一步上升的晚期水深持续加大,发育较深水陆棚沉积体系,具有沉积物逐渐变细的沉积演化特点(如第四回次井段);(3)海平面下降中、晚期

物源供给重新增多,进入过补偿状态,以强制海退型陆架边缘三角洲为特征。

### 1.2.3 发育在陆架坡折上的三角洲沉积

从研究区三维地震资料可以看出,三角洲沉积发育在陆架坡折上,研究表明 23.8 Ma 以来南海北部陆架坡折维持在白云凹陷的北侧,与今天的陆架坡折带位置基本一致,白云凹陷为陆坡深水环境。但 23.8 Ma 以前的渐新世(32.0~23.8 Ma),发育大套的自北向南前积反射地震相,具有典型三角洲斜交“S”型前积组合反射结构,表明渐新世是一套增长速度快、沉积厚、砂泥互层频繁、分布面积巨大的陆架边缘三角洲沉积体系。白云凹陷整体为陆架边缘三角洲沉积,陆架坡折带在白云主凹的南侧,以大型“S”型前积反射(前积体的顶超面与下超面的水平落差达到 400~600 m)的形式出现,陆架边缘三角洲跨越在渐新世陆架坡折上(庞雄等,2007b)。

### 1.3 陆架边缘三角洲与陆坡深水沉积的“源—汇”关系

应用“源—汇(Source-to-Sink)”理论的思想和层序地层学的概念,将陆架边缘三角洲看成陆坡深水沉积体系的背景物源,而将陆坡内的深水沉积体看成可容空间变化期间的沉积汇场所(李铁刚等,2003; 庞雄等,2007c; 祝彦贺等,2009),将作用机理(陆架边缘三角洲为牵引流沉积机制,陆坡深水沉积体为重力流沉积机制)、物源连通及响应关系作为两者联系纽带,剖析远源三角洲和近源东沙隆起上的碳酸盐岩滑塌之间的此消彼长对深水沉积体的影响。

珠江组 SQ21 低位期(图 5),自陆架向陆坡的发育过程中,陆架边缘三角洲在番禺低隆起和白云凹陷北坡发育大范围的三角洲前缘沉积,并且以前缘河口坝和前缘水下分流河道为主,在靠近陆架坡折的 PYZZ 井处,为前缘水下分流河道和河道间沉积,且在地震剖面上反映为强振幅,并延伸至坡折带以下,过渡为弱振幅的富泥沉积,在 BYXX 井以北地区,又见强振幅的富砂重力流沉积。从陆架到陆坡的沉积过程中,沉积机制的改变导致了三级“源—汇”关系,陆架牵引流到陆坡重力流的演变过程中,牵引流具有沉积的延续性和长期性,而重力流具有沉积的间断性和短暂性特征。

从 LWYY 井的取心和地震反射看,地震上的强振幅具有双解性,既可以是富砂沉积,也可以是碳酸盐岩沉积,亦有两者的混合沉积(图 6)。岩心上珠江组显示为碳酸盐岩到鲍玛序列的突变沉积,且碳

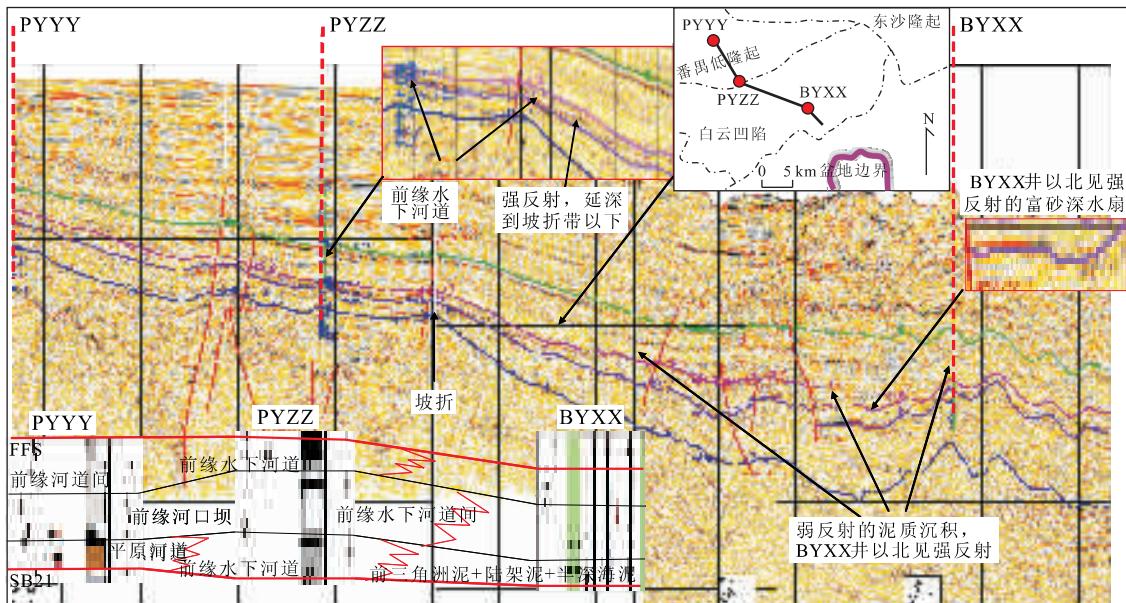


图5 陆架边缘三角洲与陆坡深水沉积之间的联系(以珠江组SQ21低位期为例)

Fig. 5 Relationship between shelf-edge delta and deep-water fan

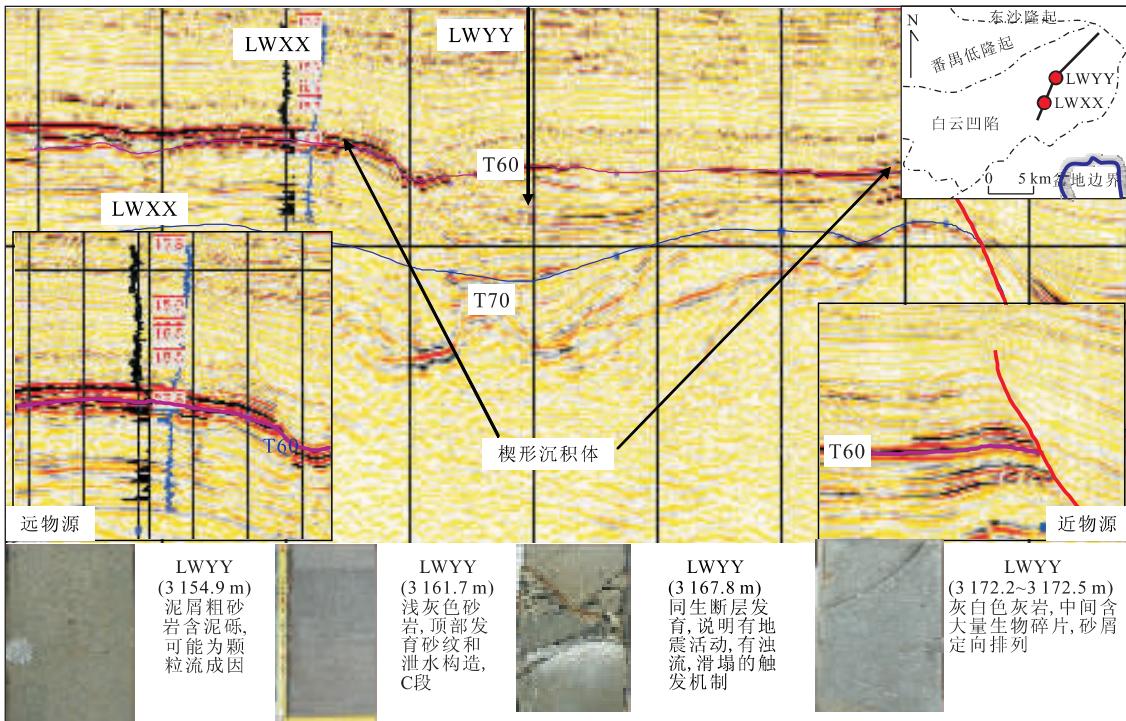


图6 陆架边缘三角洲与东沙隆起碳酸盐岩形成的双物源(以珠江组底界SQ23.8 Ma为例)

Fig. 6 Double sources of sediments from shelf-edge delta and carbonate rock on the Dongsha uplift

酸盐岩上部见到同生断裂,说明当时有断裂的活动,而断裂活动成为LWYY井珠江组浊流的触发机制,下部东沙隆起之上的浅水碳酸盐岩靠近断阶坡折带,易受重力作用向坡折以下的深水再沉积,形成薄层的碳酸盐岩滑塌体,此时在LWXX井附近接受陆架边缘三角洲物源供给,发育深水扇,以粗粒的内

扇水道为主,LWYY井以薄层粉—细砂岩的水道侧翼为主,并夹杂碳酸盐岩沉积,形成复杂的混合沉积。在碳酸盐岩沉积过程中,深水扇的发育是否受到限制,以及碳酸盐岩滑塌体的延伸范围和破坏能力是否改变深水扇内部的储集体分布,这都需要通过新的钻井资料和分析手段进一步确定。但可以肯定

的是,陆架边缘三角洲作为背景源供给陆坡深水扇发育的过程是短暂而快速的,不存在长期的供给关系,同时东沙隆起上的短轴物源(以碳酸盐岩为主)发育期短,以生物碎屑灰岩为主。

## 2 白云凹陷深水区中新世陆架边缘三角洲沉积模式

通过地震特征、新钻测井分析及岩心精细沉积解释,本文以白云凹陷深水区中新世沉积时期为例说明其沉积模式,而陆架边缘三角洲的特殊沉积意义也决定了其与陆坡深水沉积体系的三级“源—汇”关系(图 7)。在低位域时期,初期三角洲以下切河道

储集区域扩大,下倾方向的三角洲系统与上倾方向的供给系统被主要的生长断层分离开,而且被高位期深水泥页岩包围。因此,陆架边缘三角洲是极好的勘探目标:因为它们具有超压地层、早期构造以及分布广泛的储层和良好的盖层(Meckel, 2003; Roberts *et al.*, 2003; 武强等,2005)。

从渐新世珠海组—中新世珠江组发育的沉积体类型来看,白云凹陷深水区发育陆架边缘三角洲体系;陆架边缘三角洲跨越陆架边缘,存在着成因联系的陆架沉积体和陆坡沉积体,其前缘带主体在陆架断阶坡折的两侧,特别是向陆坡一侧,有富砂的河口坝沉积;而在多级坡折控制的复杂陆架边缘,形成复杂的水道和重力流沉积,特别是凹陷内的富砂斜坡扇—深水扇,是寻找大型有利储集体的重点。在白云凹陷深水区的勘探过程中,要充分注意到在渐新世为进积型陆架坡折控制,而在中新世为加积型陆架坡折控制的陆架边缘三角洲体系中大型有利储集体发育的差异性。相对富砂的陆架边缘三角洲与陆坡斜坡扇砂体的分布,是大型有利目标集中分布的区域,成为白云凹陷深水区最为有利的成藏带。

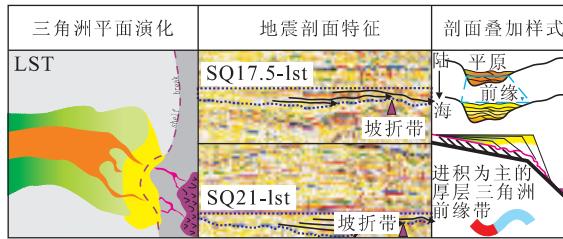


图 7 白云凹陷深水区中新世陆架边缘三角洲沉积模式

Fig. 7 Sedimentary model of shelf-edge delta in Miocene of deep-water area in Baiyun sag

的平原沉积为主,前缘带的发育规模较小,随着三角洲进积,三角洲规模变大,沉积厚度增大,并以前缘带河口坝沉积为主要特征,沉积物大量堆积形成了深水沉积体系“背景源”的物质基础,特别是其富砂的岩性特征为陆坡斜坡扇有利储集体的发育提供了基础。此时的陆架断阶坡折为外陆架泥和滩坝沉积,断裂带活动常常使边缘的砂体向陆坡内滑动,形成各种重力流—滑塌体沉积(Edwards, 1981; Porebski and Steel, 2006)。断阶坡折的活动性是白云凹陷深水区陆架边缘三角洲沉积物发生再搬运、再沉积形成陆坡复合水道、重力流沉积的主要控制因素。

## 3 油气勘探意义

由于陆架边缘的独特性,三角洲体系进积到深水区时变得不稳定,这一点与稳定陆架上沉积的三角洲体系有很大的不同。不稳定三角洲产生了多种同沉积(早期)构造,包括生长断层、滑移断层以及众多的组合断层、底辟和重力滑塌构造。生长断层导致

## 4 结论

(1)古珠江自身的径流量、发育时间和陆架—陆坡坡度、长度特征决定了其可以发育成陆架边缘三角洲;通过近期新钻井资料、精细沉积分析和三维地震资料分析研究,表明从渐新世珠海组—中新世珠江组白云凹陷深水区发育陆架边缘三角洲体系。(2)陆架边缘三角洲发育于低位期的晚期,以三角洲前缘带发育为主要特征,在陆架断阶坡折带附近沉积变厚,以进积型三角洲沉积序列为特征,呈“S”型向陆坡生长,跨越在陆架边缘上。(3)相对海平面变化、陆架断阶坡折带控制了陆架边缘三角洲的发育,特别是三角洲形成后,容易在活动陆架断阶坡折的触发下形成沉积物的再搬运,在陆坡内形成深水沉积的三级“源—汇”响应。(4)相对富砂的陆架边缘三角洲与陆坡斜坡扇砂体的分布,是大型有利目标集中分布的区域,成为白云凹陷深水区最为有利的成藏带;同时要注意渐新世—中新世沉积时期陆架边缘三角洲体系中大型有利储集体发育的差异性。

## References

Burgess, P. M., Hovius, N., 1998. Rates of delta progradation during highstands: consequences for timing of dep-

- osition in deep-marine systems. *Journal of the Geological Society*, 155(2): 217—222. doi: 10.1144/gsjqs.155.2.0217
- Covault, J. A., Romans, B. W., Graham, S. A., 2009. Outcrop expression of a continental-margin-scale shelf-edge delta from the Cretaceous Magallanes basin, Chile. *Journal of Sedimentary Research*, 79(7): 523—539. doi: 10.2110/jsr.2009.053
- Edwards, M. B., 1981. Upper wilcox rosita delta system of South Texas: growth-faulted shelf-edge deltas. *AAPG Bulletin*, 65(1): 54—73.
- Guo, X. R., Wu, Q., Qiu, Y., et al., 2006. Analysis of the shelf-margin delta in the south of Zengmu basin, South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 26(4): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Li, T. G., Cao, Q. Y., Li, A. C., et al., 2003. Source to sink: sedimentation in the continental margins. *Advance in Earth Sciences*, 18(5): 713—721 (in Chinese with English abstract).
- Mayall, M. J., Yeilding, C. A., Oldroyd, J. D., et al., 1992. Facies in a shelf-edge delta: an example from the subsurface of the Gulf of Mexico, Middle Pliocene, Mississippi Canyon, Block 109. *AAPG Bulletin*, 76(4): 435—448.
- Meckel, L. D., 2003. Shelf margin deltas: the key to big reserves. In: Roberts, H. H., Rosen, N. C., Fillon, R. H., et al., eds., *Shelf margin deltas and linked down slope petroleum system: global significance and future exploration potential*. Houston, Texas.
- Pang, X., Chen, C. M., Peng, D. J., et al., 2007a. Sequence stratigraphy of Pearl River deep-water fan system in the South China Sea. *Earth Science Frontiers*, 14(1): 220—229 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X., Chen, C. M., Shao, L., et al., 2007b. Baiyun movement: a great tectonic event on the Oligocene-Miocene boundary in the northern South China Sea and its implications. *Geological Review*, 53(2): 145—151 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X., Peng, D. J., Chen, C. M., et al., 2007c. Three hierarchies “Source-Conduit-Sink” coupling analysis of the Pearl River deep-water fan system. *Acta Geologica Sinica*, 81(6): 857—864 (in Chinese with English abstract).
- Petter, A. L., Steel, R. J., 2006. Hyperpycnal flow variability and slope organization on an Eocene shelf margin, central basin, Spitsbergen. *AAPG Bulletin*, 90(10): 1451—1472. doi: 10.1306/04240605144
- Plink-Björklund, P., Mellere, D., Steel, R. J., 2001. Turbidite variability and architecture of sand-prone, deepwater slopes: eocene clinoforms in the Central basin, Spitsbergen. *Journal of Sedimentary Research*, 71(6): 895—912. doi: 10.1306/030501710895
- Porebski, S. J., Steel, R. J., 2001. Delta types and sea level cycle. *AAPG Annual Convention*, June 3—6, Denver, Colorado, 12(10): A160.
- Porebski, S. J., Steel, R. J., 2003. Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands. *Earth-Science Reviews*, 62(3—4): 283—326. doi: 10.1016/s0012-8252(02)00161-7
- Porebski, S. J., Steel, R. J., 2006. Deltas and sea-level change. *Journal of Sedimentary Research*, 76(3): 390—403. doi: 10.2110/jsr.2006.034
- Roberts, H. H., Rosen, N. C., Fillon, R. H., et al., 2003. Shelf margin deltas and linked down slope petroleum systems: global significance and future exploration potential. Houston, Texas.
- Shao, L., Pang, X., Zhang, G. C., et al., 2010. Late Oligocene tectonic event in the northern South China Sea and its implications. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(5): 717—724 (in Chinese with English abstract).
- Sun, L. T., Sun, Z., Zhan, W. H., et al., 2009. Petroleum potential prediction of the Lile basin in Nansha. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(1): 137—145 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z., Sun, L. T., Zhou, D., et al., 2009. Discussion on the South China Sea evolution and lithospheric breakup through 3D analogue modeling. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(3): 435—447 (in Chinese with English abstract).
- Sydown, J., Roberts, H. H., 1994. Stratigraphic framework of a Late Pleistocene shelf-edge delta, Northeast Gulf of Mexico. *AAPG Bulletin*, 78(8): 1276—1312.
- Wu, Q., Xie, X. N., Jiang, T., 2005. Study situation of shelf-margin delta and its significance. *Marine Geology Letters*, 21(3): 1—5 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., Wan, L., Liu, Z. H., 2004. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 543—549 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. H., Zhu, W. L., Xu, Q., et al., 2009. Sedimentary characteristics and sequence framework of the Zhuhai-Zhuijiang formation in the middle area of Pearl River Mouth basin. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 29(4): 77—83 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

郭秀蓉,武强,邱燕,等,2006.南海曾母盆地南部陆架边缘三角洲沉积特征.海洋地质与第四纪地质,26(4): 1—6.

李铁刚,曹奇原,李安春,等,2003.从源到汇:大陆边缘的沉积作用.地学科学进展,18(5): 713—721.

庞雄,陈长民,彭大钧,等,2007a.南海珠江深水扇系统的层序地层学研究.地学前缘,14(1): 220—229.

庞雄,陈长民,邵磊,等,2007b.白云运动:南海北部渐新统—中新统重大地质事件及其意义.地质论评,53(2): 145—151.

庞雄,彭大钧,陈长民,等,2007c.三级“源—渠—汇”耦合研究珠江深水扇系统.地质学报,81(6): 857—864.

邵磊,庞雄,张功成,等,2009.南海北部渐新世末的构造事件.地球科学——中国地质大学学报,34(5): 717—724.

孙龙涛,孙珍,詹文欢,等,2010.南沙海域礼乐盆地油气资源潜力.地球科学——中国地质大学学报,35(1): 137—145.

孙珍,孙龙涛,周蒂,等,2009.南海岩石圈破裂方式与扩张过程的三维物理模拟.地球科学——中国地质大学学报,34(3): 435—447.

武强,解习农,姜涛,2005.陆架边缘三角洲的研究现状及其意义.海洋地质动态,21(3): 1—5.

姚伯初,万玲,刘振湖,2004.南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源.地球科学——中国地质大学学报,29(5): 543—549.

祝彦贺,朱伟林,徐强,等,2009.珠江口盆地中部珠海组—珠江组层序结构及沉积特征.海洋地质与第四纪地质,29(4): 77—83.