

# 珠江口盆地荔湾井区珠江组深水扇沉积特征

王昌勇<sup>1</sup> 郑荣才<sup>1</sup> 高博禹<sup>2</sup> 朱国金<sup>2</sup> 胡晓庆<sup>2</sup> 李 云<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 中国海洋石油研究中心开发设计院, 北京 101149)

**摘要:**珠江口盆地白云凹陷荔湾深水区为油气勘探有利区域, 通过岩石学和古生物组合特征研究, 认为该区珠江组下部属于典型的深水扇沉积, 可划分为早期盆地扇和晚期斜坡扇两种类型, 两类深水扇都以发育颗粒流、砂质碎屑流及低密度浊流等顺坡重力流沉积为主, 同时夹有少量内波和等深流等深水牵引流改造沉积。砂质碎屑流为两类深水水道砂体的主要沉积类型, 发育有逆-正粒序层理、平行层理和水平层理, 粒序层内可见各种丰富的液化变形和生物逃逸构造, 而水平层内发育有更多的生物钻孔和扰动现象。两类深水扇的沉积构造和古生物特征有明显差异, 其中盆地扇水道砂岩中普遍含硅质小砾石, 水道间泥岩中含有较多保存完好的抱球虫化石, 斜坡扇水道砂岩以富含炭泥屑为典型特征, 水道间泥岩含有更丰富的颗石藻和抱球虫化石, 其中部分抱球虫和颗石具有遭受海底溶蚀作用的现象, 指示斜坡扇相对盆地扇有更大的水体深度。平面上两类深水扇具有相似的重力流沉积的分带性, 都具有自陆架坡折向盆地方向由颗粒流沉积逐渐向砂质碎屑流和近源高密度浊流、远源低密度浊流等单向演化的特点。

**关键词:**白云凹陷; 珠江组; 深水扇; 水道砂体; 颗粒流; 砂质碎屑流; 浊流

**中图分类号:** P531      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2010)06-1628-10

深海与浅海是一个相对的概念, 涵盖海底地形和海水深度两方面特征, 对于深海的定义不同学者持不同看法<sup>[1,2]</sup>, 但都将 200 m 水深作为浅海与半深海或深海界限。200 m 水深为特大风暴浪所能作用的理论深度, 此水深之下的深水海底不受波浪、潮汐及沿岸流等表流影响, 但以内波、内潮汐为代表的底流活跃。深水区沉积物主要来源于悬浮物质的垂直沉降、深水重力流的异地搬运, 同时还可能受等深流及内波、内潮汐等深水牵引流的影响和改造。已有的研究表明, 由重力流搬运快速堆积而成的深水扇是最重要的油气聚集场所之一, 珠江口盆地白云凹陷荔湾井区即为中国第一个与深水扇沉积有关的油气富集区, 彭大钧等<sup>[3,4]</sup>首先从地震剖面上识别出南海珠江口盆地深水扇系统, 而郑荣才教授最早从岩心中识别出新近系中新统珠江组深水扇相标志。但就目前资料而言, 对其是否属于深水扇沉积仍缺乏统

一认识, 因此系统研究珠江组深水扇沉积特征, 对指导该地区珠江组油气勘探有着极其重要的基础地质理论和生产实践意义。

珠江口盆地位于南海北部大陆边缘, 是一个在燕山期褶皱基底上经构造裂隙演化而成的准被动大陆边缘盆地, 该盆地经历了晚白垩世—早渐新世裂陷、晚渐新世—中中新世拗陷和中中新世块断活动 3 个构造演化阶段<sup>[5]</sup>, 形成了现今珠江口盆地北部断阶带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带 5 个 SW-NE 向的构造单元, 以及发育于各构造单元内部的次级凹陷和低隆起(图 1)。荔湾井区位于南部拗陷带白云凹陷东部, 古新世和始新世为陆相沉积区, 渐新世沦为海相沉积区, 发育珠海组障蔽海岸-陆架边缘三角洲-陆棚沉积体系, 距今 23.8 Ma 前的“白云运动”导致珠江口盆地白云凹陷进一步发生巨变, 大多数学者认为由珠海组陆架沉

收稿日期: 2010-07-07; 改回日期: 2010-10-25

基金项目: 国家重大专项“南海深水油气勘探开发示范工程-荔湾 3-1 气田总体开发方案及基本设计技术”子项目“深水扇储层层序地层和沉积模式研究”(2008ZX05056-02-02)资助。

作者简介: 王昌勇, 男, 1981 年生, 讲师, 博士, 主要从事沉积学及石油地质研究; E-mail: qisiwoye\_2001@163.com。

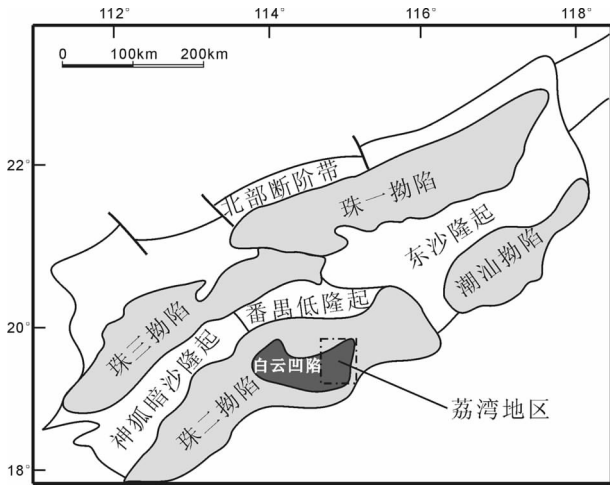


图 1 荔湾井区构造位置图  
Fig.1 Tectonic position of Liwan area

积环境强烈热沉降成为珠江组陆坡深水环境<sup>[6-9]</sup>,但仍有部分学者坚持这一地区珠江组为浅水沉积,属于浅海陆棚或三角洲体系,甚至是潮坪或潮汐砂坝环境的产物。笔者通过对珠江组大量岩心观察,对典型沉积构造和古生物标志分析后认为:该地区中新世早期(珠江组)已经沦为深水环境,发育有包括深水盆地、深水扇和等深流及内波在内的深水沉积体系。

### 1 荔湾珠江组深水沉积标志

荔湾井区珠江组下部主要为一套深灰色泥岩粉砂岩与灰色细-粗砂岩组合,中、上部为大套深灰色泥岩夹泥质粉砂岩及粉砂质泥岩组合(图 2),泥岩中普遍含有少量灰质,局部含有较密集的烟灰色黄铁矿结核和条带(图版 I-1),地层中发育大量指示深水环境的沉积构造和古生物化石。

#### 1.1 典型深水沉积类型

荔湾井区珠江组下部的砂、泥岩组合中广泛发育包括颗粒流、碎屑流和浊流在内的顺坡深水重力流沉积,局部发育有等深流及内波等沿坡牵引流沉积,这些沿坡牵引流沉积亦为指示深水环境的重要标志。

##### 1.1.1 颗粒流

颗粒流主要形成于砂质沉积物密度>70%的顺坡流体环境中,以砂级颗粒间碰撞所产生的分散力为支撑流体运动动力。荔湾井区珠江组中的颗粒流沉积厚度一般不超过 20 cm,顶底界面与上、下岩层均呈岩

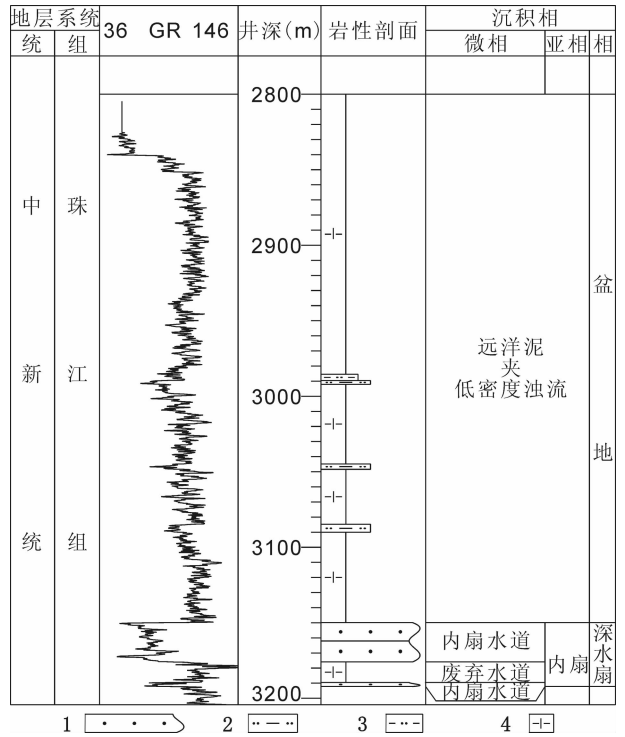


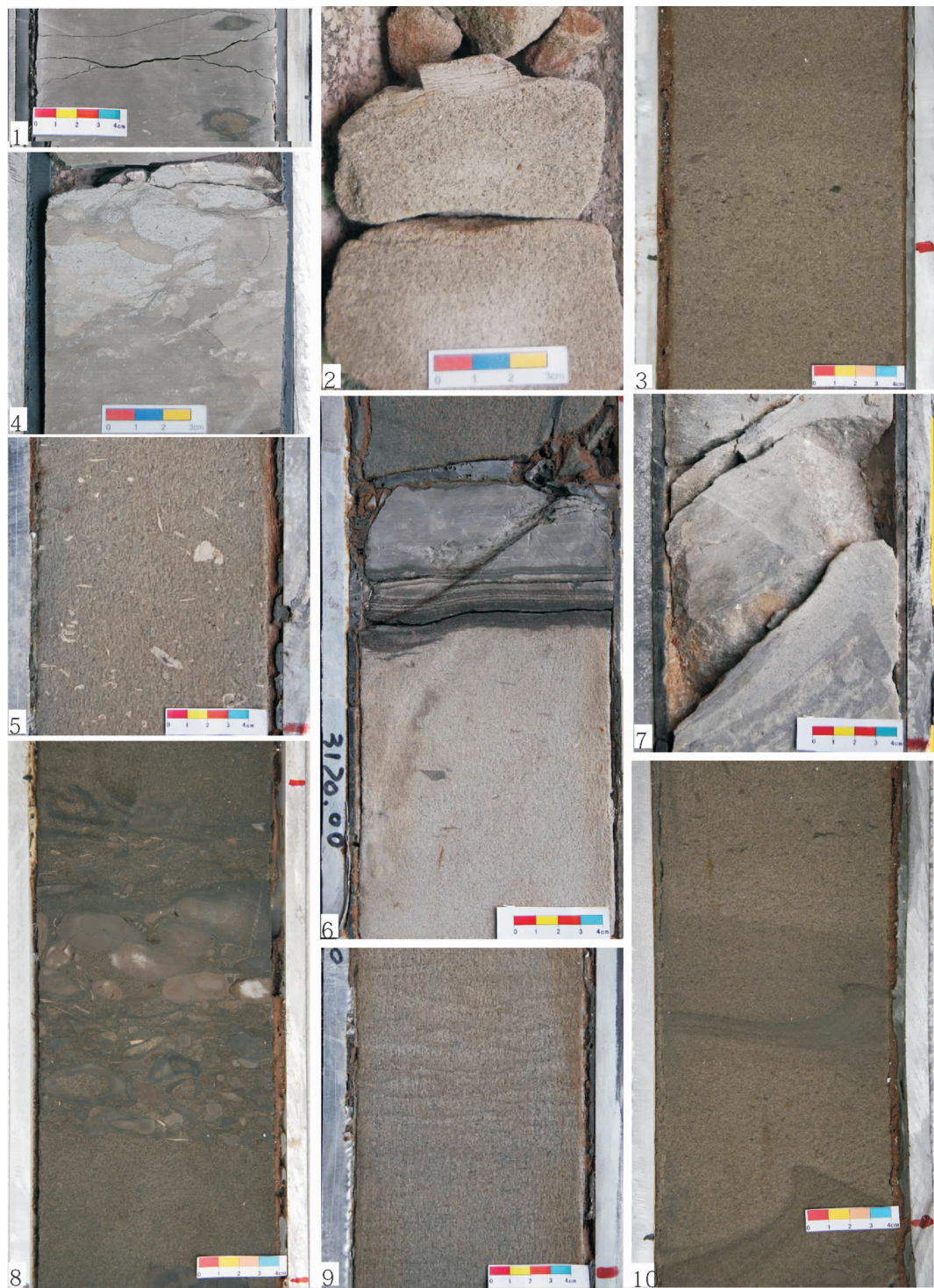
图 2 珠江组沉积相柱状图(D 井)  
1—中砂岩;2—泥质粉砂岩;3—粉砂质泥岩;4—灰质泥岩  
Fig.2 Columnar section of sedimentary facies of Zhujiang Formation (well D)  
1—Medium sandstone; 2—Pelitic siltstone; 3—Silty mudstone; 4—Calcareous mudstone

性或粒度突变接触关系,常见槽模、沟模和负载构造等同生变形构造,并以具有颗粒分选好、杂基含量低、常具有明显逆-正粒序结构(图版 I-2)为显著特征,通常发育于近物源端的深水扇内扇水道环境。

##### 1.1.2 碎屑流

碎屑流的顺坡运动由基质强度、分散压力和上浮力支撑为流体运动动力。荔湾井区珠江组碎屑流沉积包括砂质碎屑流和泥质碎屑流 2 种类型<sup>[10]</sup>,其中泥质碎屑流的基质为泥质,其成因流体的泥质沉积物密度>50%,常见角砾状和塑性变形的泥质同生砾石被泥质基质支撑现象(图版 I-4)。砂质碎屑流又可称之为变密度颗粒流<sup>[11]</sup>,其基质为砂质,成因流体的砂质沉积物密度>50%,以发育明显的逆-正粒序(图版 I-3)和常含有大量生物碎屑(图版 I-5)为显著特征。砂岩中常见较多顺层排列的炭泥屑(图版 I-6),同时沉积物中常含有大的砾石(图版 I-7,图版 I-8),反映砂质碎屑流运动过程中具有很

图版 I



1—深灰色泥岩,含微量灰质,含大量烟灰色黄铁矿结核,D井,3144.6 m,珠江组;2—浅灰褐色中-粗粒砂岩,具不明显的逆-正粒序层理,含少量条带状泥质夹层,内扇水道阵发性近源颗粒流沉积,A井,3062.5 m,珠江组;3—自下而上分别为深灰色细砂岩-含砾中砂岩-细砂岩,具明显的逆-正粒序,砂质碎屑流沉积,内扇水道/废弃水道,H井,2473.8 m,珠江组;4—浅灰色同生角砾岩,粉-细砂质同生砾石呈棱角状和塑性变形状被泥质支撑,滑塌碎屑流沉积,斜坡脚内扇水道,A井,3062.3 m,珠江组;5—灰色、灰黄色中粒-粗粒岩屑砂岩,含大量杂乱堆积的生物碎屑,砂质碎屑流沉积,内扇水道,D井,3164.8 m,珠江组;6—下部为灰色中砂岩,撕裂的炭泥质泥砾,水道中的砂质碎屑流沉积,上部为灰色泥质粉砂岩与深灰色泥岩互层,发育水平层理,为水道间漫溢沉积,D井,3170.0 m,珠江组;7—灰色中-粗粒灰质生物屑砂岩,具滑塌碎屑结构和变形构造,撕裂的泥岩碎屑中发育大量生物钻孔,D井,3172.4m,珠江组;

8—灰色中砂岩,含大量菱铁矿结核砾,部分菱铁矿结核呈环带状,其成因与生物活动有关,砂质碎屑流沉积,内扇水道,D井,2478.6 m,珠江组;  
9—灰色中-粗粒岩屑砂岩,含泥纹并具碟状泄水构造,含较多定向排列的炭泥屑,砂质碎屑流沉积,内扇水道,D井,3162.2 m,珠江组;10—灰色  
极细-中砂岩,发育液化变形构造,砂质碎屑流沉积,内扇水道,D井,2477.5 m,珠江组

1—Dark grey calcareous mudstone, containing many pyrite nodules, well D, 3144.6m, Zhujiang Formation;2—Greyish brown medium sand and  
grit sand, developing reverse grading and normal grading, containing a few argillaceous bands, intermittent grain flow of inner fan channel, well  
A,3144.6 m, Zhujiang Formation;3—Dark grey fine sand, grit sand and fine sand from bottom to top, developing clear reverse grading and normal  
grading, inner fan channel, well H, 2473.8 m, Zhujiang Formation;4—Light grey autobreccia, silty and fine gravel with sharp angular or present as  
plastic state supported by argillite, slumping debris flow, slope toe, well A, 3062.3 m, Zhujiang Formation;5—Grey or daffodil yellow medium  
sand and grit sand, containing plenty of biotritus, sandy debris flow, well D, 3164.8 m, Zhujiang Formation;6—Lower part of the core  
developing grey medium sand, containing tearing carbon boulder clay, sandy debris flow of channel, the upside developing grey argillaceous  
siltstone and dark grey mud stone, developing horizontal bedding, interchannel overflow, well D,3170.0 m, Zhujiang Formation;7—Grey medium  
and grit bioclastic sandstone, developing slump and deformation structure, burrows in tearing mud debris; well D,3172.4m, Zhujiang Formation;  
8—Grey medium sand, containing plenty of siderite nodules, some nodules present as band related to biological activity, sandy debris flow, well  
D, 2478.6 m, Zhujiang Formation;9—Grey medium and grit lithic-sandstone, containing argillaceous lamina and dish-like water-escape  
structure, containing many carbon mud debris preferred orientation, inner fan channel, well D,3162.2m, Zhujiang Formation;10—Grey fine sand  
and medium sand, developing liquefaction and deformation structure, sandy debris flow, well D, 2477.5 m, Zhujiang Formation

高的基质屈服强度和支撑力。碎屑流砂岩中往往发育有泄水构造(图版 I-9)和碟状液化变形构造(图版 I-10),为块体搬运和冻结式堆积的指示标志。砂质碎屑流自下而上依次发育逆粒序→正粒序→平行层理,这一垂向序列在珠江组砂质碎屑流沉积中具有普遍规律性,在逆粒序层段常见生物逃逸迹,而在平行层段发育有更丰富的生物钻孔和扰动构造(图版 II-1),为重力流停滞期生物频繁活动的产物。水道砂体往往是多期碎屑流沉积叠加的结果,前期碎屑流堆积体的上部往往被后期碎屑流侵蚀改造,发育有平直状或波状起伏的冲刷面(图版 II-2),但由于上、下砂体岩性的近似,常导致不同期水道难以被识别,而根据平行层理及生物遗迹化石的发育情况则很容易判别水道砂体的期次。

### 1.1.3 浊流

浊流是一种液性流,其流体顺坡运动依靠沉积物间的湍流支撑,以发育鲍玛序列为典型标志。浊流中的沉积物浓度明显低于碎屑流,但按流体中的沉积物含量仍可划分为高密度浊流(沉积物含量>25%)和低密度浊流(沉积物含量<25%)2个类型。荔湾井区主要发育低密度浊流,单次浊流的沉积厚度仅数个厘米,呈薄层状夹于大套远洋泥岩中,一般只发育鲍玛序列的 C-D-E 段,其 C 段为灰色粉-细砂岩,可见不太明显的沙纹层理,底部与下伏远洋泥冲刷接触,常发育液化变形构造。D-E 段为泥质粉砂岩及粉砂质泥岩,以发育水平层理(图版 II-3)为主。

### 1.1.4 等深流

等深流形成于下斜坡深水环境,成因与流速较高的大洋底流沿下斜坡作等深的环流运动有关,因此,等深流被认为是下斜坡环境的典型标志。岩性主要为分选较好的粉-微粒砂岩,呈薄的透镜状夹于

大套远洋泥岩中,发育 S 型加积层理(图版 II-4),为等深流沿坡流动和充填海底渠道而形成,是识别等深流沉积的典型标志<sup>[13]</sup>,其沉积物加积方向(即纹层倾向)大致垂直于斜坡倾向。

### 1.1.5 内波

内波是存在于两个不同密度的水层界面上或具有密度梯度的水体之内的水下波<sup>[12]</sup>,在湖泊和半封闭水体中的内波常表现为驻波,而海洋中的内波则通常表现为沿坡流动的前进波<sup>[13]</sup>,因而有能量侵蚀前期沉积物并引起底形变化。在荔湾井区珠江组下部广泛发育经内波改造的浊流沉积,岩性为灰色极细砂岩和粉砂岩,分选明显较下部浊流沉积好,以发育明显的波痕、波状沙纹层理及双向交错层理与等深流砂体相区别,波状界面之间可见明显的滑塌变形构造(图版 II-3,图 3),显然为斜坡脚的远源低密度浊流沉积体发生间歇性滑塌变形和遭受多次内波侵蚀、改造作用的结果。

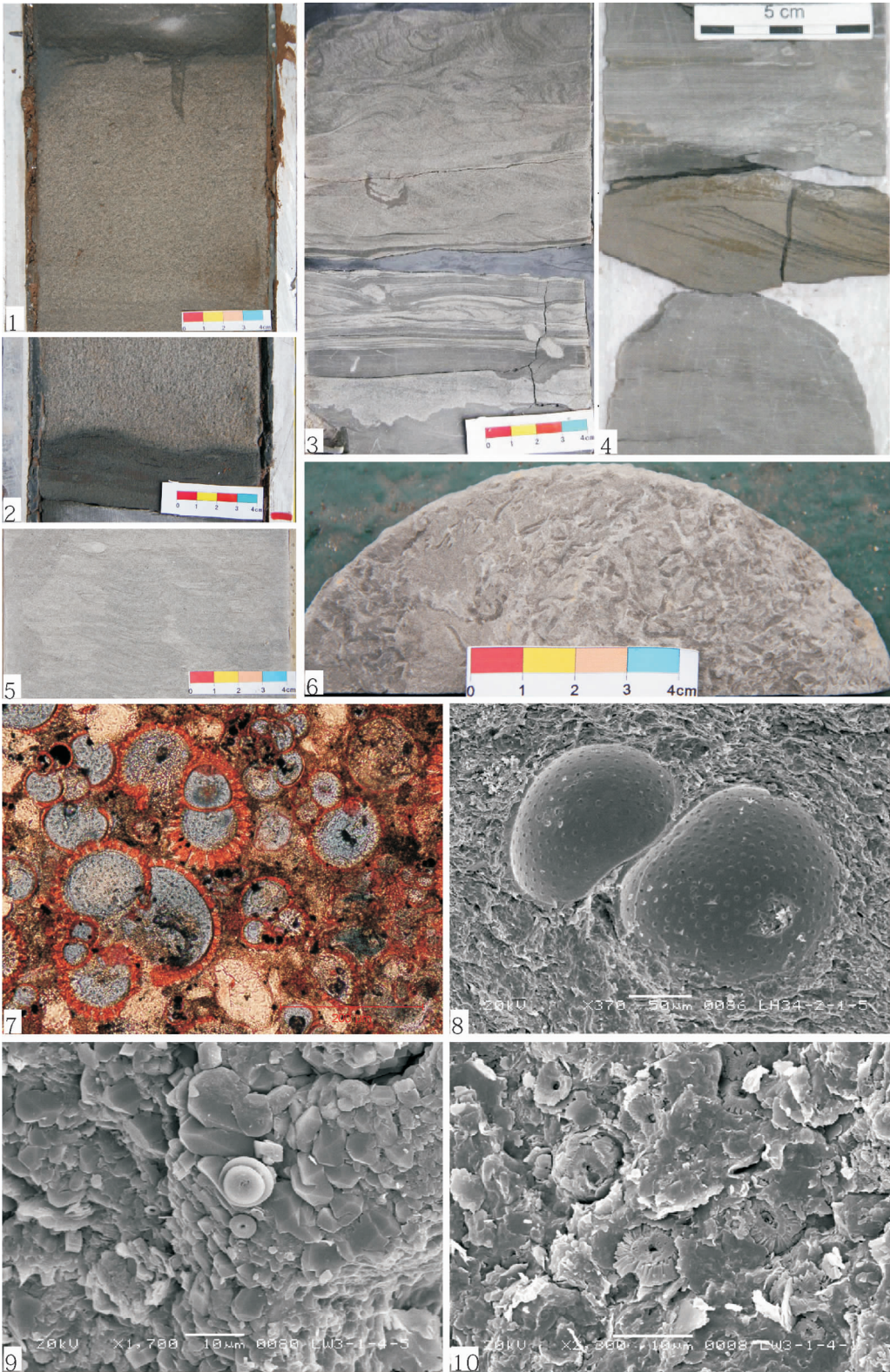
## 1.2 古生物标志

硅质软泥和钙质软泥是两种常见的远洋沉积物,按生物种属可分为硅质放射虫软泥、硅藻软泥和钙质有孔虫软泥、颗石藻软泥及翼足虫软泥等。荔湾井区珠江组地层除发育有数层厚度不等的深水扇砂岩外,更多的则以沉积深灰色远洋泥岩为主,这些深水相泥岩厚度可达数百米,不含或仅夹有少量低密度浊流沉积的薄层粉砂质,但通过扫描电镜分析,在泥岩中发现大量浮游类微体古生物化石,为确定深水环境提供了重要依据。

### 1.2.1 抱球虫化石

有孔虫在海相地层中的分布很广,但其组合及类群的分布与水体深度存在密切关系,一般在滨海区主要为底栖类型,没有或极少有浮游类型,在外陆棚

图版 II



1—中下部为灰色细-中砂岩,具逆-正粒序,上部为深灰色泥质粉砂岩,受生物扰动明显,发育虫孔,砂质碎屑流沉积,内扇水道,H井,2472 m,珠江组;2—下部为深灰色条带状泥质砂岩,上部为黄灰色中-粗粒岩屑砂岩,发育波状起伏的冲刷面,砂质碎屑流,D井,3169.2 m,珠江组;3—底部为含微量灰质的深灰色泥岩,为远洋沉积,中部为粉砂岩,为浊流沉积 c-d-e 段,底为齿状的冲刷-变形面(具穿刺现象),上部为灰色极细砂岩,发育滑塌变形构造与规则的波状界面,为浊流成因的 C 段砂岩发生滑塌变形再遭受内波改造的结果,D井,3146.1 m,珠江组;4—深灰色泥岩夹薄层粉-微粒砂岩,发育 S 型加积层理,属斜坡脚等深流及斜坡脚远洋泥沉积,D井,3058.1 m,珠江组;5—灰色灰质粉砂岩,发育 Zoophycos 遗迹相,潜穴宽 1~3 cm,深度约 5 cm,G 井,3207 m,珠江组;6—灰色粉砂泥岩,发育大量蠕形迹,通道光滑,直径 1~1.5 mm,外扇,G 井,3221.1 m,珠江组;7—抱球虫软泥,铸体染色薄片,单偏光,E 井,2926.3 m,珠江组;8—抱球虫软泥,扫描电镜照片,H 井,3003 m,珠江组;9—砂岩中的颗石藻化石,扫描电镜照片,D 井,3172.2 m,珠江组;10—颗石藻软泥,扫描电镜照片,D 井,3140 m,珠江组

1-The middle and lower part of the core developing grey fine sand and medium sand, developing reverse grading and normal grading, the upside developing dark grey argillaceous siltstone, having clear bioturbation and burrows, sandy debris of inner fan channel, well H, 2472m, Zhujiang Formation;2- The lower part of the core developing dark grey belt-like argillaceous sandstone, the upside develop daffodil yellow medium and grit lithic-sandstone, developing undulate erosion surface, sandy debris flow, well D, 3169.2 m, Zhujiang Formation;3- The bottom of the core develop dark grey calcareous mudstone, pelagic mud, the middle part developing siltstone, the c-d-e section of Bouma sequence, developing odontoid erosion-deformation surface, the upper part developing fine sand, developing slump deformation structure and regular undulate surface, transformed by inter wave from the c section of turbidity current, well D, 3146.1m, Zhujiang Formation;4- Dark grey mudstone with interlayer of siltstone, developing S-like accretion bedding, contour current and pelagic mud of slope toe, well D, 3058.1m, Zhujiang Formation;5-Grey calcareous siltstone, developing Zoophycos, the breadth of the burrow about 1 to 3cm, and the depth of the burrow about 5cm, well G, 3207 m, Zhujiang Formation;6-Grey argillaceous siltstone, developing many helminthoida with smooth channel, its diameter about 1 to 1.5cm, outer fan, well G,3221.1m, Zhujiang Formation;7-Globigerinamud, cast thin section dyeing with alizarin red, well E, 2926.3 m, Zhujiang Formation;8-Globigerinamud, SEM, well H, 3003 m, Zhujiang Formation;9- Coccoolith in sandstone, SEM, well D, 3172.2 m, Zhujiang Formation;10-Coccoolith ooze, SEM, well D, 3140 m, Zhujiang Formation

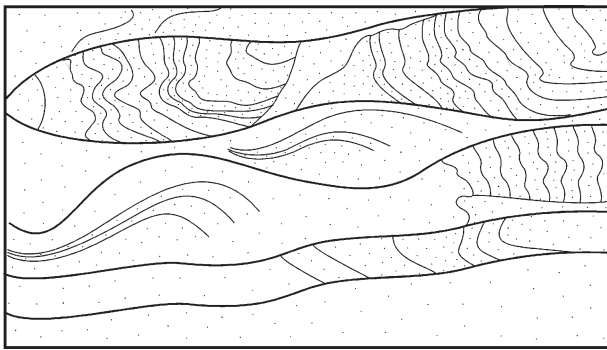


图 3 图版 II-3 内波沉积素描图

Fig.3 Sketch of internal waves deposit of plate II-3

区域浮游类型含量可达 50%以上,而在大陆斜坡及盆地区,随水深的增大,浮游类有孔虫的含量进一步增高,其数量可达底栖类有孔虫的 5~10 倍,即浮游有孔虫的数量随离岸距离及深度的增加而增长<sup>[14]</sup>,荔湾井区珠江组地层中发现的抱球虫壳壁为钙质,房室呈球状或椭球状,一般由 2~4 个以上房室构成(图版 II-7),单个房室大小为 50~200  $\mu\text{m}$ ,以壳面上发育大量微孔为特点(图版 II-8),为典型的浮游类有孔虫,主要产于珠江组底部第一套深水扇砂体附近(图 4),化石保存完好,其数量远超出底栖类有孔虫,在底流沉积的泥粉砂岩中呈局部高密度分布形成的抱球虫软泥,可作为指示水深大于 200 m 的半深海—深海环境重要标志<sup>[14,15]</sup>。

### 1.2.2 颗石藻化石

研究区所发现的颗石藻化石主要出现在珠江组

第二套深水扇砂体附近(图 4),在砂岩中有少量分布(图版 II-9),而在泥岩中可呈局部密集堆积的颗石藻软泥形式出现(图版 II-10)。其类型为盾石型,其远端盾和近端盾由一个中心管相连,直径一般小于 15  $\mu\text{m}$ 。生长的颗石藻一个细胞上常由数十个颗石组成近于球形和卵形的颗石球,当颗石藻死亡后颗石球将解体为许多颗石,颗石在远洋沉积中大量堆积保存,成为大洋底颗石藻软泥的主要成分。一般说来,浮游藻类与浮游有孔虫共生关系非常密切,在荔湾井区珠江组颗石藻软泥中同时可见较多抱球虫化石,但抱球虫软泥中保存的颗石藻化石则极为稀少,且属种单一,这一特征可能与文石溶跃层有关,因为颗石主要成分为文石,现今南海东北部海区文石的饱和面约 435 m,补偿深度(ACD 面)约 1000 m<sup>[16]</sup>,在此深度附近大部分颗石已经溶蚀,只有少量耐溶的属种得以保存形成化石。综合泥岩中的颗石部分已遭受准同生期较强烈的海底溶蚀作用(图版 II-10),说明其堆积于文石饱和面之下的深水环境。

### 1.2.3 蠕形迹和 Zoophycos 遗迹相

荔湾井区珠江组沉积中发育大量生物钻孔及生物扰动构造,特别是在 G 井珠江组泥岩取心段中发现大量蠕形迹,管体通道较为光滑,直径仅 1~1.5 mm,呈蛇曲形带状规则密集分布(图版 II-6),一般认为是类似蠕虫动物的沉积物内部牧食迹<sup>[17]</sup>,奥陶纪以来的此类蠕形迹大都发现于较深水环境<sup>[18]</sup>;同时在 G 井泥质粉砂岩中发现 Zoophycos 遗迹相,具有蹼状构造的螺旋管穿切层面呈 U 形叠置,沿 U

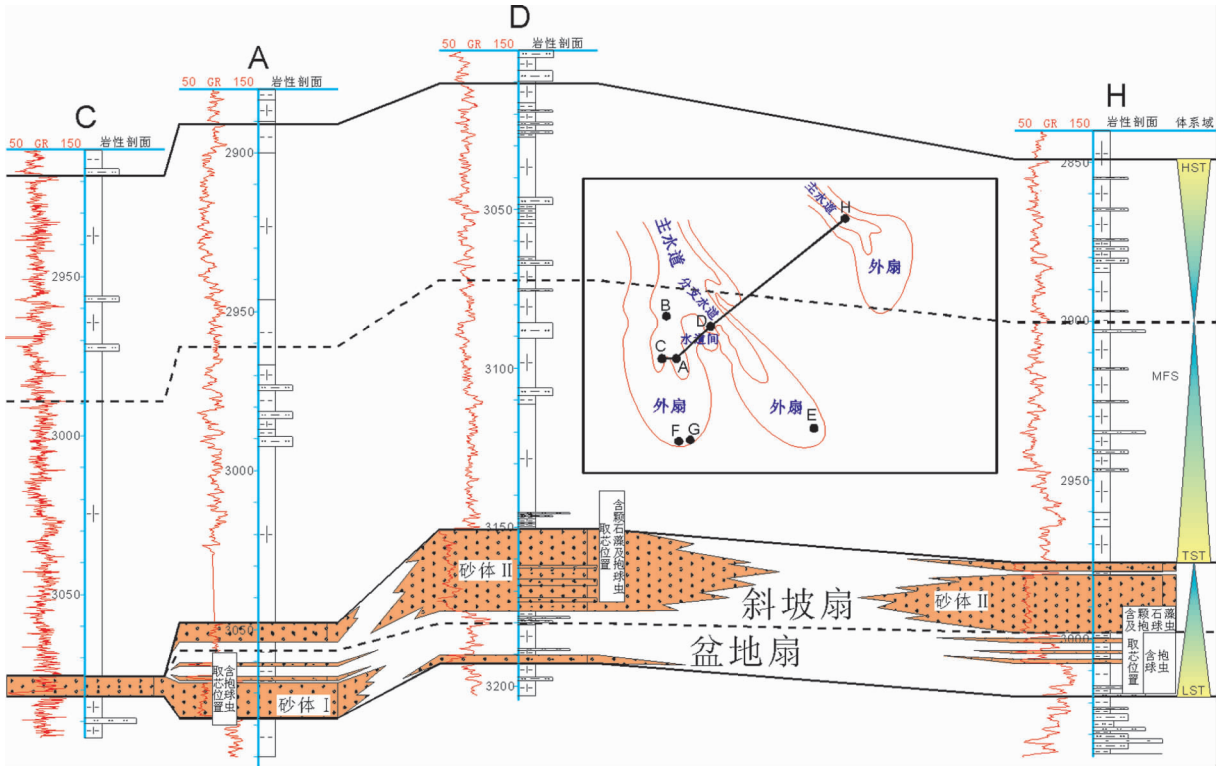


图4 荔湾井区珠江组顺物源方向深水扇沉积联井对比图

Fig.4 Correlation of deepwater fan along provenance direction of Zhujiang Formation in Liwan area

形凸出方向潜穴逐渐扩大(图版 II-5),潜穴宽 1~3 cm,深度一般不超过 7 cm,也可作为指示较深海环境标志<sup>[18]</sup>。

### 2 荔湾珠江组深水扇沉积特征

荔湾井区珠江组深水扇发育在珠江组底部,占据珠江组第一个沉积层序的低位体系域,发育有 2 个砂体(图 4),其中砂体 I 主要为一套浅灰色块状中-粗粒岩屑长石砂岩,发育逆-正粒序,局部含菱铁矿结核和含较多的硅质小砾石、小泥砾及双壳类碎屑与保存完好的有孔虫化石,大部分砾石和贝壳碎片最大长度小于 0.5 cm,有沿层面呈线状分布的特点,属于水道内砂质碎屑流沉积。在 A 井取心段的砂体 I 上覆泥岩中(3057.56~3080.26 m 井段),含有大量抱球虫化石,在 H 井取心段下部(3000~3016.8 m 井段)也具有相同的古生物特征,都属于深水环境沉积物。

砂体 II 主要为灰色中-粗粒岩屑长石砂岩,局部夹薄层砂质泥屑灰岩,砂岩具逆-正粒序,含少量

生物碎屑,砂岩中常见顺层分布的深灰色炭泥屑,泥屑直径一般 2~3 mm,局部可见砾径数厘米的大泥砾或撕裂的角砾状泥砾,主要为砂质碎屑流沉积,局部夹远源风暴流沉积。由多次碎屑流的间歇性发育在该砂体内部形成了大量平直或波状的冲刷面,大量生物钻孔发育在冲刷面之上的沉积物中,大部分属于生物逃逸遗迹,部分属于生物觅食迹。此外,在 D 井相当层位(3138.00~3173.92 m 井段)沉积物中含有丰富的颗石藻及较多的抱球虫化石,其深水环境的沉积特征及古生物特征与 H 井相当层位的取心段(2990.3~3000 m 井段)十分相似,层位上具有可对比性。

砂体 I 和砂体 II 虽然同为砂质碎屑流沉积,其沉积特征有一定相似性,譬如都含有较多的生物碎屑以及发育逆-正粒序等,但其岩性和古生物特征存在如下几个较大差异:①砂体 I 粒度相对较粗和含有较多硅质小砾石,邻近泥岩以含有较多抱球虫化石为显著特征,且此砂体分布范围非常有限,目前仅见于 A 井;②砂体 II 以粒度相对较细和顺层分布丰富

的炭泥屑为主要特征,其上覆泥岩中除含有丰富的颗石藻化石外,抱球虫化石也较为常见,此砂体分布范围很大,于 C、D 和 H 等钻井都钻遇该砂体,且各钻井钻遇的砂体 II 都具有非常相似的岩石学、古生物学和剖面结构特征;③由砂体 I 和砂体 II 上述岩石学、古生物学特征和区域分布上的差异性,可反映这 2 个砂体为不同时期和不同沉积环境的产物。

### 3 荔湾井区深水扇沉积-演化模式

晚渐新世珠海组沉积时期,荔湾井区发育有障蔽海岸-陆架边缘三角洲沉积体系<sup>[9]</sup>,主要为一套砂泥岩互层组合,砂岩中广泛发育正粒序、槽状交错层理、板状交错层理、楔状交错层理等各类与浅水牵引流有关沉积构造组合。在距今 23.8 Ma 晚渐新世末期受白云运动影响<sup>[9]</sup>,盆地由早期的裂陷期向坳陷期转变,珠江口盆地发生强烈沉降<sup>[20,21]</sup>,由珠海组沉积期的陆架沉积环境转变为深水陆坡沉积环境,来自于陆架边缘三角洲的大量沉积物随顺坡重力流沿大陆坡上的峡谷搬运到陆架坡折之外的深海区,并在坡内盆地快速堆积和直接超覆在珠海组之上的深水扇,形成相当低位域盆地扇位置的、向盆地下超尖灭的砂体 I 透镜体(图 4)。随着沉积充填作用的进行和相对海平面上升,深水扇向陆架坡折带一侧迁移,在陆坡上堆积形成向陆架上超、向陆坡下超的斜坡扇,即珠江组砂体 II(图 5),而发育于深水扇中扇水道间和外扇的细粒沉积物则普遍地遭受内波和等深流等沿坡流沉积改造,局部发育有抱球虫和颗石藻软泥沉积。与此同时,长距离进积的陆架边缘三角

洲向陆坡方向下超在斜坡扇之上而形成进积复合体,自下而上由盆地扇、斜坡扇和陆架边缘三角洲进积复合体共同构成了珠江组下部独具特色的低位体系域,其上被海平面快速上升形成的海侵体系连续沉积的大套泥岩覆盖,从而导致深水扇沉积结束。

综上所述,提出珠江口盆地荔湾井区珠江组低位体系域深水扇沉积模式(图 5)。

### 4 认识

渐新世末期白云运动导致珠江口盆地的强烈坳陷,是发育深水扇沉积的构造背景,荔湾井区珠江组深水扇沉积具有如下特征:

(1)砂岩中大量发育的逆-正粒序、粉-细砂岩及泥岩构成的鲍玛序列、富集呈软泥状堆积的抱球虫和颗石藻化石、以及地层中的蠕形迹和 Zoophycos 遗迹相等沉积构造和古生物组合特征表明,荔湾井区珠江组底部为一套典型的深水扇沉积,其沉积水体深度大于 200 m。

(2)扇体以颗粒流、砂质碎屑流和低密度浊流等顺坡重力流沉积为主,同时具有内波和等深流改造的沉积特点。

(3)深水扇沉积演化受海平面升降和坡折带迁移控制,先后经历了盆地扇-斜坡扇 2 个演化阶段,盆地扇水道砂体以含硅质小砾石为主要特征;而斜坡扇水道砂岩以含丰富的炭泥屑为主要特征;

(4)海平面快速上升和坡折带向岸迅速迁移,是导致荔湾井区深水扇突然消失的主要原因。

通过对荔湾井区珠江组深水扇沉积特征的研

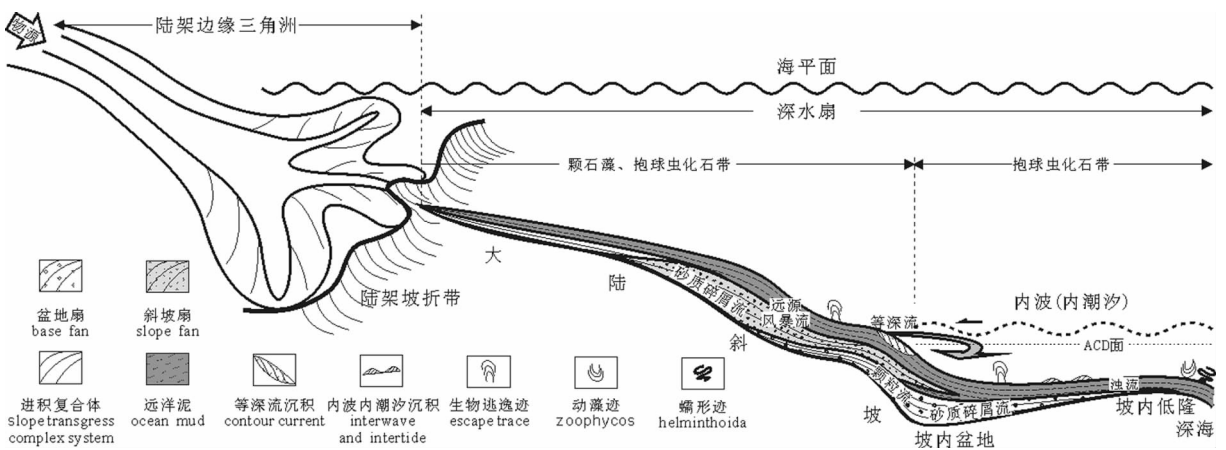


图 5 荔湾井区珠江组低位体系域深水扇沉积模式图  
Fig.5 Sedimentary model for deepwater fan of Zhujiang Formation in Liwan area



究,确定了深水扇的典型标志,不仅可以使关于该井区珠江组沉积相的争论尘埃落定,不再纠缠于“深水”、“浅水”之争,有利于集中精力研究深水扇沉积模式下储层发育的规律,同时对今后类似沉积的研究也具有很好的借鉴意义。

### 参考文献 (References):

- [1] 刘宝珺, 余光明, 魏沐潮, 等. 岩相古地理学教程[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 89-104.  
Liu Baojun, Yu Guangming, Wei Muchao, et al. Lithopalaogeography Tutorial [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 89-104 (in Chinese).
- [2] 冯增昭主编. 沉积岩石学 (下册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 118-137.  
Feng Zengzhao. Sedimentary Petrology (Below) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 118-137(in Chinese).
- [3] 彭大钧, 陈长民, 庞雄, 等. 南海珠江口盆地深水扇系统的发现[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 17-23.  
Peng Dajun, Chen Changmin, Pang Xiong, et al. Discovery of deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 17-23(in Chinese with English abstract).
- [4] 彭大钧, 陈长民, 庞雄, 等. 从浅水陆架走向深水陆坡—南海深水扇系统的研究[J]. 石油学报, 2005, 23(1): 1-11.  
Peng Dajun, Chen Changmin, Pang Xiong, et al. From shallow-water shelf to deep-water slope—The research of deep-water fan systems in South China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- [5] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-266.  
Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The Condition of Oil and Gas Reservoir Formation in the East of Pearl River Mouth Basin[M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-266(in Chinese).
- [6] 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 1-500.  
Gong Zaisheng, Li Sitian, Xie Taijun, et al. Continental Margin Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of the Northern South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997: 1-500 (in Chinese).
- [7] 彭大均, 庞雄, 陈长民, 等. 南海珠江深水扇系统的形成特征与控制因素[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 10-19.  
Peng Dajun, Pang Xiong, Chen Changmin, et al. The characteristics and controlling factors for the formation of deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 10-19 in Chinese with English abstract).
- [8] 彭大均, 庞雄, 黄先律, 等. 南海珠江深水扇系统的形成模式[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 7-11.  
Peng Dajun, Pang Xiong, Huang Xianlü, et al. Depositional model of Pearl River deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 7-11(in Chinese with English abstract).
- [9] 庞雄, 陈长民, 邵磊, 等. 白云运动: 南海北部渐新统—中新统重大地质事件及其意义[J]. 地质论评, 2007, 53(2): 145-151.  
Pang Xiong, Chen Changmin, Shao Lei, et al. Baiyun movement: a great tectonic event on the Oligocene—Miocene boundary in the northern South China Sea and its implications [J]. Geological Review, 2007, 53(2): 145-152(in Chinese with English abstract).
- [10] Shanmugam G. 50 Years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17: 285-342.
- [11] 徐强, 何汉漪, 吕明, 等. 莺歌海盆地变密度流和喷溢流沉积及其油气勘探意义[J]. 中国海上油气, 2005, 17(4): 217-224.  
Xu Qiang, He Hanyi, Lv Ming, et al. Modified-density flow and shedding flow sediments and their petroleum exploration significance in Yinggehai basin [J]. China offshore Oil and Gas, 2005, 17(4): 217-224 (in Chinese with English abstract).
- [12] LaFond E C. Interval waves, in Fairbridge R W, ed., The encyclopedia of oceanography: New York, Reinhold, 1966: 402-408.
- [13] 高振中, 等. 深水牵引流沉积: 内潮汐、内波和等深流沉积研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1-107.  
Gao Zhenzhong, He Youbin, Luo Shunsheng, et al. Deep-water Traction Current Deposits: A Study of Internal Tides, Internal Waves, Contour Currents and their Deposits [M]. Beijing: Science Press, 1996: 1-107(in Chinese with English abstract).
- [14] 郝诒纯, 茅绍智. 微体古生物学教程(第二版)[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: 30-39.  
Hao Yichun, Mao Shaozhi. The Tutorial of Micropaleontology (2nd edition) [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1993: 30-39(in Chinese).
- [15] Brasier M D, Microfossils. pub. by Billing and Son Ltd., 1980.
- [16] 韩舞鹰, 马克美. 南海东北部海区碳酸盐的饱和面、溶跃面和补偿深度[J]. 热带海洋, 1988, 7(3): 84-89.  
Han Wuying, Ma Kemei. Carbonate compensation depth, saturation horizon and lysocline in the northeast region of South China sea [J]. Tropical Oceanology, 1988, 7(3): 84-89 (in Chinese).
- [17] Seilacher A. Bathymetry of trace fossils. Marine Geol., 1967, 5: 413-428.
- [18] 杨式溥, 张建平, 杨美芳. 中国遗迹化石[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 29-46.  
Yang Shipu, Zhang Jianping, Yang Meifang. Trace Fossils of China [M]. Beijing: Science Press, 2004: 29-46(in Chinese).
- [19] 柳保军, 申俊, 庞雄, 等. 珠江口盆地白云凹陷珠海组浅海三角洲沉积特征[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 49-61.  
Liu Baojun, Shen Jun, Pang Xiong, et al. Characteristics of continental delta deposits in Zhuhai Formation of Baiyun Depression in Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 49-56(in Chinese with English abstract).
- [20] 邵磊, 雷永昌, 庞雄, 等. 珠江口盆地构造演化及对沉积环境的控制作用[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(9): 1177-1181.  
Shao Lei, Lei Yongchang, Pang Xiong, et al. Tectonic evolution and its controlling for sedimentary environment in Pearl River

Mouth Basin [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2005, 33(9):1177-1181 (in Chinese with English abstract).

[21] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海北部白云深水区之基础地质[J]. *中国海上油气*, 2008, 20(4):215-222.

Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. Basic geology of Baiyun deep-water area in the northern South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2008, 20 (4):215-222 (in Chinese with English abstract).

## Deepwater fan sedimentary characteristics of Zhujiang Formation in Liwan area of Zhujiang River mouth basin

WANG Chang-yong<sup>1</sup>, ZHENG Rong-cai<sup>1</sup>, GAO Bo-yu<sup>2</sup>,  
ZHU Guo-jin<sup>2</sup>, HU Xiao-qing<sup>2</sup>, LI Yun<sup>1</sup>

(1. *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*

*2. Research Center of CNOOC, Beijing 100027, China)*

**Abstract:** Liwan deepwater area located in Baiyun Sag of Zhujiang River mouth basin is a potential area for oil and gas exploration. The Lower Member of Zhujiang Formation in the study area is regarded as a deepwater fan based on a detailed study of petrologic and paleontological assemblage characteristics. The deepwater fan in Liwan area can be divided into two types, i.e., early basin fan deposit and late slope fan deposit. Both types of the deepwater fan have developed granular flow, sandy debris flow, low-density turbidity flow and other gravity currents along the slope, with the development of a little internal wave and contour current deposit. Sandy debris flow is the mainly sedimentary type of channel sand bodies of the two deepwater fans, and there are also reverse grading, positive grading, parallel bedding and horizontal bedding. In addition, many liquefaction and fluidization structures and biological escape trace in graded bedding as well as abundant burrow pores and bioturbation in horizontal bedding are observed. The two types of deepwater fan have different sedimentary and paleontological characteristics. There is silicious pea gravel in channel sandstone and globigerina fossil in interdistributary bay mudstone of the basin fan. Slope fan deposit contains rich coccoliths and globigerina fossil, and is characterized by carbon mudstone scraps in channel sandstone. Coccoliths and globigerina fossil in the slope fan have obvious characteristics of submerged corrosion, which means that the slope fan has deeper water than the basin fan. The two types of deepwater fan have similar distribution of gravity currents, i.e., the evolution from proximal granular flow to sandy debris flow, then to high-density turbidity flow and finally to low-density turbidity flow; in other words, from continental shelf slope turned directly to the basin.

**Key words:** Baiyun sag; Zhujiang Formation; deepwater fan; channel sand-body; granular flow; sandy debris flow; turbidity flow

---

**About the first Author:** WANG Chang-yong, born in 1981, lecturer, engages in the study of sedimentology and oil geology; E-mail: qisiwoye\_2001@163.com.