

文章编号: 1000-0550(2010) 05-0906-11

南海白云凹陷深水区长渐新世—中新世断阶 陆架坡折沉积过程响应^①

徐 强¹ 王英民² 王 丹¹ 李 冬²

(1 中国海洋石油研究中心 北京 100027; 2 中国石油大学 北京 102249)

摘 要 南海珠江口盆地白云凹陷深水区长在渐新世—中新世经历了后退断阶式的陆架坡折带演化, 该过程控制了本地区沉积体系的发育和分布, 从而也在一定程度上影响了油气藏的形成与分布。基于近期最新钻井资料、精细沉积学分析和长电缆高质量三维地震资料解释, 结合陆架边缘三角洲沉积模式理论, 开展了该区断阶陆架坡折控制的沉积过程响应特征研究。发现渐新世陆架坡折带主要的沉积过程响应是珠海组陆架边缘三角洲前积楔—浅海陆架沉积体系, 中新世后退断阶陆架坡折主要沉积响应为生长断层复杂化的陆架边缘三角洲与斜坡扇体系, 该发现将有助于指导深水油气勘探。

关键词 白云凹陷 深水区长 断阶陆架坡折 陆架边缘三角洲 斜坡扇

第一作者简介 徐强 男 1958 年出生 研究员 石油地质 E-mail: xuqiang@cnooc.com.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

在深水沉积研究中陆架和陆坡的结合部位—陆架坡折带是石油地质学家关注的重点, 也是当前国际学术研究的热点^[1~5]。陆架坡折带是位于陆架和陆坡之间的过渡地带, 它具有独特的水动力条件和沉积作用过程, 它往往是陆源碎屑物质从陆架向陆坡和大洋搬运的地区。因此, 陆架坡折沉积作用过程的研究, 对陆架沉积动力学或深海沉积学的研究都有重要意义。随着对陆架坡折带的深入研究, 在低位期发育于陆架和陆坡间的陆架边缘三角洲 (shelf margin delta) 便成为了学者们仔细研究的对象^[6~13]。陆架边缘三角洲指发育于大陆架边缘、越过大陆坡折向陆坡延伸发育的三角洲, 随着物源不断向陆坡运移, 陆架坡折带逐渐向远陆方向前进。陆架坡度一般小于 1°, 而陆坡一般为 3°~6°^[2], 因此, 物源在被搬运至陆架边缘附近时, 由于重力作用的影响, 相当大一部分会越过陆架坡折沉积, 形成发育于陆架边缘上的巨厚沉积层^[2]。近年来, 陆架边缘三角洲已成为世界深水油气勘探的重点目标, 加强对陆架边缘三角洲的研究, 对于寻找深海陆坡油气藏具有重要意义。如今, 近海油气勘探由浅海向深海进军已成为国际趋势。我国珠江口盆地南部的白云凹陷是盆地内面积最大、沉积地层最厚、烃源潜力最大的凹陷^[14], 具有开展深水油气勘探的巨大潜力, 这是本文研究的重要

背景。因此, 对白云凹陷陆架坡折带这一关键区域构造演化过程沉积响应的精细研究将有助于明确勘探目标, 降低勘探风险, 同时也为该区域的基础地质认识提供丰富的素材。

1 地质背景

白云凹陷位于中国南海北部珠江口盆地南部 (图 1), 是南海最具代表性的第三系深水陆坡沉积区。由于其处于欧亚板块、太平洋板块和印—澳板块作用的交汇地带, 盆地发育、演化复杂, 这与国外深水勘探成功地区如西非的 Gabon、巴西的 Campos 等典型被动大陆边缘断陷盆地有所不同。白云主凹南北由断裂带所限, 宽约 80 km, 沉积基底埋深大于 11 km, 在剖面 (南北向) 上呈大致对称的深碟形; 南凹宽约 70 km, 沉积基底深约 9 km, 剖面 (近东西向) 上呈“W”型。白云凹陷经历了断陷、断拗、拗陷的盆地发育演化过程^[15], 这显然是在特殊地质条件下发生的。白云凹陷位于中生代俯冲带的构造软弱带, 处于减薄的洋陆过渡地壳和盆地构造转换带位置, 此处是构造形变集中区, 在区域拉张背景下, 幔源物质上升, 岩浆活动较强烈, 地壳减薄, 导致岩石圈强度急剧降低并发生韧性变形, 在经历了较短暂的脆性变形发育一系列半地堑之后即进入“又断又拗”的韧性伸展阶段,

^①国家重点基础研究发展计划项目课题 (编号: 2009CB219407) 资助。

收稿日期: 2010-05-20 收修修改稿日期: 2010-06-05

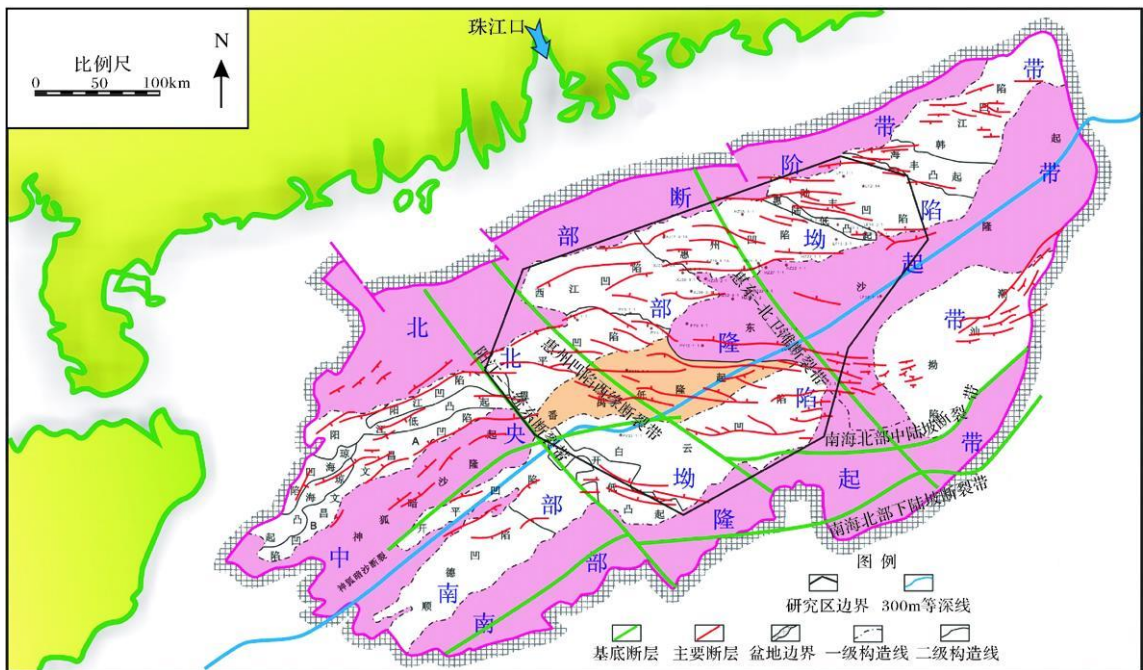


图 1 珠江口盆地地理位置及构造格局 (据中海石油研究中心, 1998)。

Fig 1 Geographical location and tectonic pattern of the Pearl River Mouth Basin (From CNOOC Research Center, 1998)

产生了垂向沉降变形, 形成大型的断—拗凹陷^[15]。白云凹陷古近系包括神狐组、文昌组、恩平组、珠海组, 其中渐新统以珠海组为主且研究程度较高; 新近系包括珠江组、韩江组、粤海组、万山组, 其中完全固结成岩的主要为中新统珠江组, 珠海组和珠江组为本文研究的主要对象。

2 渐新世—中新世后退式陆架坡折的证据

研究表明中新世 (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, 白云凹陷为陆架深水环境。但 23.8 Ma 以前的渐新世, 白云凹陷表现为大套的自北向南前积反射地震相 (图 2), 具有典型三角洲斜交 S 型前积组合反射结构, 前积体的顶超面与下超面的水平落差可达 100~400 m, 这表明晚渐新世的珠海组主要是一套增长速度快、沉积厚、砂泥互层频繁、分布面积广的陆架边缘三角洲沉积组合 (图 2), 结合凹陷北侧探井也证实了的古珠江三角洲分布特点, 推测当时的三角洲向南延伸推进到达白云主凹的南侧, 陆架坡折带在白云主凹的南侧, 渐新世—中新世过渡期间存在陆架坡折带从白云主凹南侧向北侧迁移的重大地质事件。而这一时间正好对应白云运动的强烈活动期, 随着南

海扩张脊向南跃迁, 区域深部地幔物质异常活跃; 同时, 深部结构研究表明, 白云凹陷位于减薄的过渡地壳之上, 在这个薄弱带深部地幔物质上隆, 对上部地壳物质进行可塑性改造和部分熔离, 当幔源物质回返后地壳就会产生强烈的热沉降, 导致白云凹陷发生快速下陷, 同时成为盆地沉降和沉积中心, 最终演变为上陆坡深水环境。此时, 陆架坡折由白云凹陷的南部迁移到白云凹陷的北部, 同时在白云凹陷北侧和西侧产生了大量的张性断裂系统, 这使后期白云凹陷在继续沉降的过程中, 陆架坡折表现为断阶性质的深、浅海过渡地带 (图 3)。

此外, ODP1148 孔 (图 3) 23.8 Ma 界面处的沉积速率也表现出明显突变 (图 4)。23.8 Ma 以前沉积速率较高, 属离物源较近的上陆坡环境; 23.8 Ma 之后, 沉积速率急剧降低, 低于 23.8 Ma 以前一个数量级, 代表了离物源较远的下陆坡环境^[15, 16]。沉积速率的剧烈减小同样反映陆架坡折带迁移至白云凹陷北侧以后, 北部陆架区沉积物都被白云凹陷拦截, 而无法到达陆坡下方 ODP1148 井位置^[15]。其次, ODP1148 孔岩芯中的底栖有孔虫和介形虫组合特征反映本区渐新世—中新世海水逐渐加深, 从水深约 1 000 m 的上陆坡环境逐渐向水深 2 000~3 000 m 的中下陆坡环境转变至中新世水深大于 3 000 m, 与现

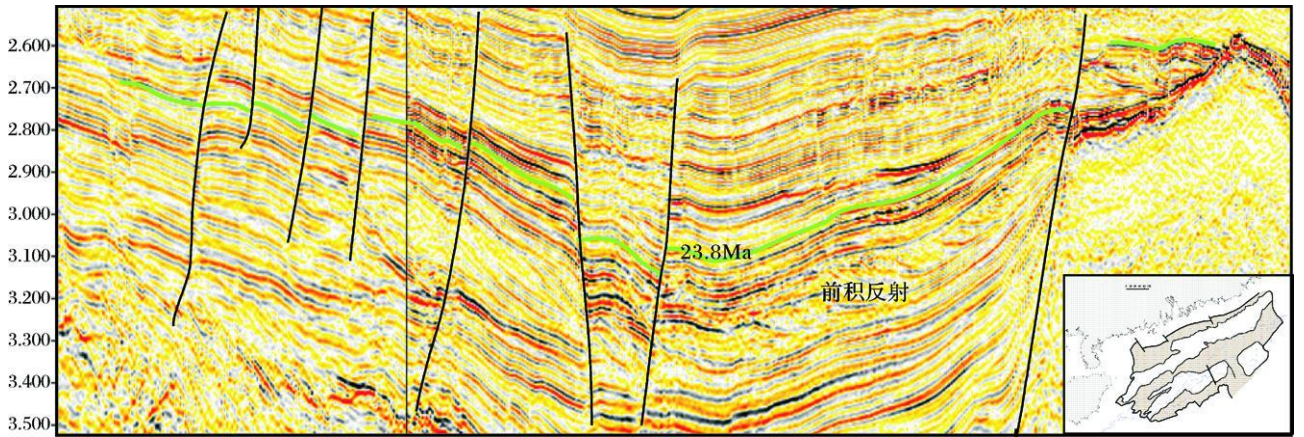


图 2 白云凹陷南北向高分辨率地震剖面,可见 23.8 Ma 界面以下(珠海组),强烈的前积充填自北向南跨越白云凹陷

Fig. 2 On north-south, high-resolution seismic profiles of Baiyun Depression, classic delta progradational reflection is very clear under 23.8 Ma reflecting interface^①

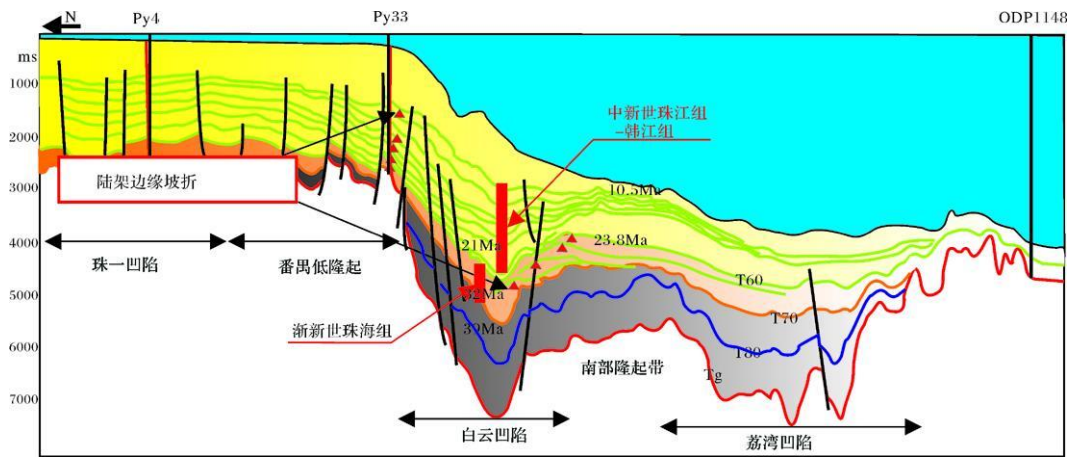


图 3 珠江口盆地近南北向地震解释剖面及陆架坡折迁移示意图 (据庞雄, 2008)

Fig. 3 Seismic interpretation profile across Well PY4, Well PY33, Baiyun Depression and site ODP1148 (modified from Pang X., 2008)

与现代水深接近,属于深海环境。而单纯的海平面变化(图 5)是无法造成如此巨大的水深变化,所以区域性的沉降应该是造成水深加大的主导因素,这也是导致陆架坡折向北迁移主要因素。孢粉分析表明渐新世地层含有丰富的孢粉化石(源于陆生植物),反映近物源海洋沉积环境;中新世地层孢粉化石稀少反映远物源海洋沉积环境(图 4),这也支持渐新世—中新世海水逐渐加深,陆架坡折向白云凹陷北侧迁移,白云凹陷快速沉降的特征。

利用数十口探井微体古生物资料分析建立的珠江口盆地相对海平面变化曲线(图 5),也从另一方面表现出这种陆架坡折带的后退变化。21 Ma 以来的三级周期海平面下降最大可达到白云凹陷北侧的陆

架坡折带;而 23.8 Ma 以前的珠海组上部海平面下降程度则可以达到 BY-7-1 以南,而通过最新钻井 LW-3-1 珠海组上部的浅水陆棚沉积组合也可以推测相对海平面下降到了白云凹陷的中部甚至南侧附近。这也说明当时陆架坡折应该位于白云凹陷的中部甚至南侧附近,否则在不考虑沉积厚度增长的情况下海平面从白云凹陷北侧下降至此需要至少 2 000 m 以上的海平面垂向下降量或者同尺度构造抬升,这显然是不符合实际地质演化历史。

层序地层研究也证实 23.8~10.5 Ma 六个三级层序都在陆架坡折带以南的白云凹陷发育深水陆坡沉积,明显不同于 23.8 Ma 以前的浅海陆架及陆架边缘三角洲沉积^[17]。

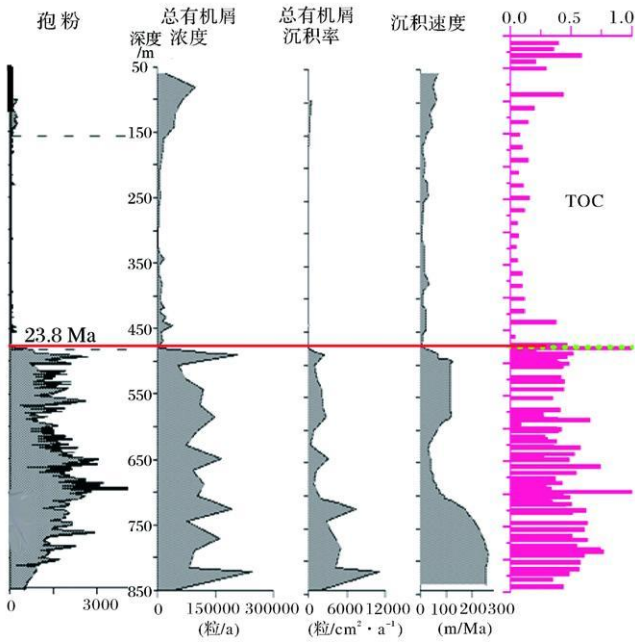


图 4 ODP1148孔岩心分析在 23.8 Ma 界面表现为沉积速率突和所有分析数据突变^①

Fig 4 Correlation analysis of core ODP1148 documents that sed in entation rate and all other analysis data mutated at 23.8 Ma^①

其次, 钙质超微化石地层分析表明, 白云凹陷北坡以北的广阔地区大约在 22 Ma 以后才有化石可记录的海相地层, 反映这些地区之前以陆相—滨岸沉积为主, 其南部的白云凹陷应属于陆架环境。

3 断阶陆架坡折控制的沉积过程响应

白云凹陷渐新世—中新世陆架坡折带显著的后退式迁移使得白云凹陷的沉积体系发生了巨大的变化。但由于缺乏钻井资料, 以前对于白云凹陷的沉积体系研究只能通过白云凹陷周边的钻井资料和地震资料进行推测。而本次研究结合了白云凹陷东南边缘的深水陆坡区最新的钻井和岩芯资料, 这就大大提高了研究成果的可信度, 同时也取得了一些全新的认识。

3.1 渐新世陆架边缘三角洲前积楔沉积体系

白云凹陷渐新世沉积以珠海组为主, 从地震资料分析发现该套地层主要为自北向南前积反射地震相组合(图 2), 具有典型三角洲前积组合反射结构特征, 但是这些前积反射的顶超面与下超面水平落差可达 100~ 400 m, 水平延伸可达数千米(图 6), 如此大落差和长距离的前积楔只有在陆架边缘才能形成。这是因为当三角洲沉积越过陆架坡折带沉积时, 由于

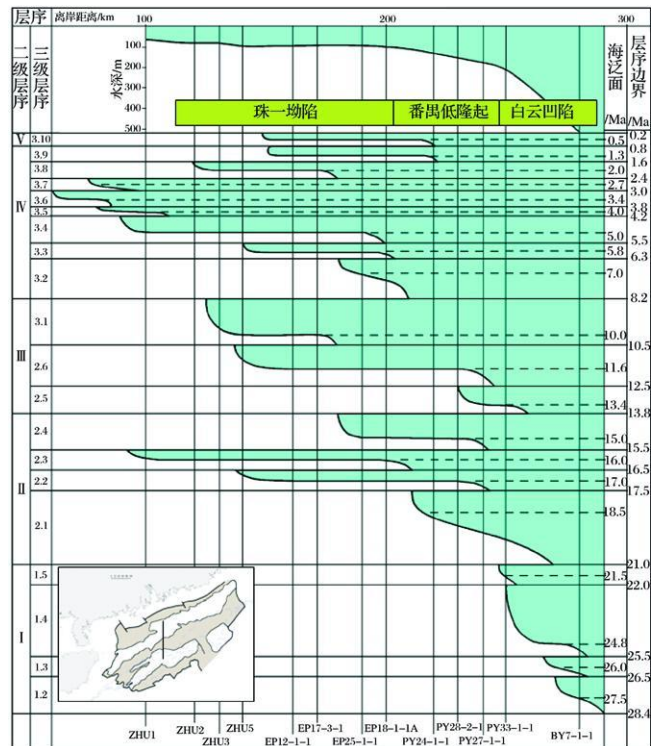


图 5 基于微体古生物分析建立的新生代晚期珠江口盆地相对海平面变化曲线(据秦国权, 1996, 有改动)^[18]

Fig 5 Late Cenozoic sea level changes of Zhujiang River Mouth Basin, which is built on nannofossil analysis (modified from Qing G Q, 2008)^[18]

陆坡的坡度较陡沉积物依陆坡地形向前搬运较远, 因此可以形成较大型的前积体(图 7A)。其次, 由于重力作用使得向陆坡供给的沉积物逐渐增多, 陆坡的稳定性也逐渐增加, 这使得陆架边缘附近成为了最大的沉积、沉降中心。因此陆架边缘三角洲往往由向陆和向海方向各自出现的两个斜坡楔形体构成, 这一特征也不同于陆架三角洲的单向前积楔, 而该特征在图 6 中的地震剖面上也有体现; 图 6 地震剖面中的陆架边缘三角洲形态与典型的陆架边缘三角洲不完全相同是因为沿 T7 界面拉平后的地震剖面不仅去除了后期构造变形的影响, 同时也将陆架坡折的地形起伏拉平了, 从而使陆架边缘三角洲的特征有所削弱。此外, 地震相反应该层段前积趋势明显, 垂向加积发育少, 说明珠海组是一套向海增长速度快、沉积厚、砂泥互层频繁、分布面积巨大的浅海陆架边缘三角洲沉积, 而且在这样的快速前积作用下陆架坡折带会向南逐

①庞雄, 陈长民, 朱明, 等. 珠江深水扇系统及油气资源研究成果报告. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 2006

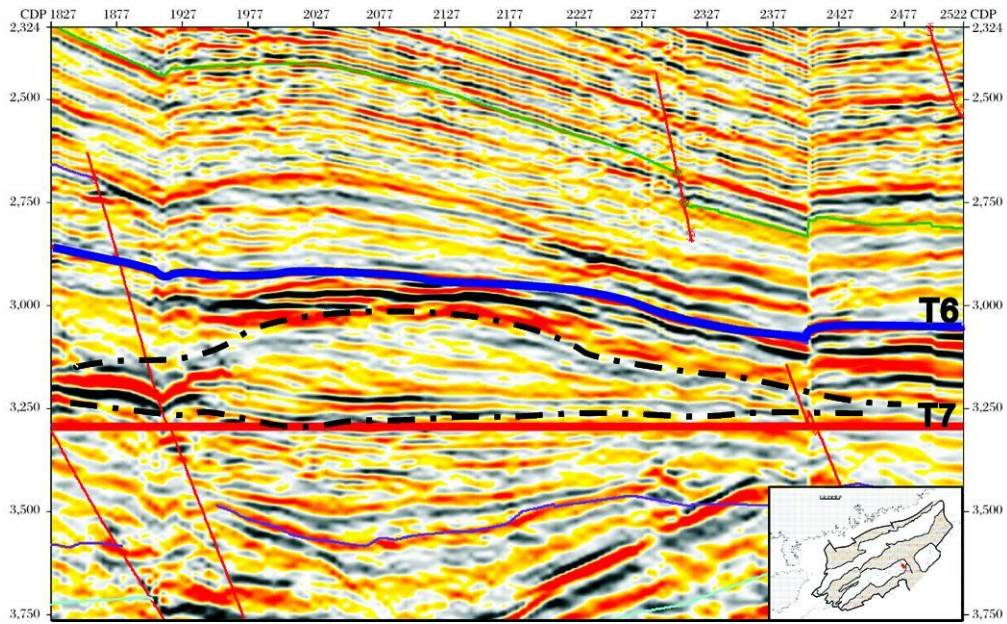


图 6 白云凹陷近南北向地震剖面(以 T7(红色粗实线)拉平), T6(紫色实线)和 T7 之间的珠海组可见大型双向向前积楔形体(黑色虚线)

Fig 6 On north-south high-resolution seismic profiles(flattened by T7) of Baiyun Depression, there is a large classic delta progradational reflection with wedges in both sides(black dotted lines)

渐推移。

白云深水区最新的六口钻井均钻遇了珠海组, 各井取芯显示白云凹陷珠海组主要为深灰色、灰色, 中一细粒、中一粗粒和粗粒岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩及粉砂岩与灰色泥岩、粉砂质泥岩不等厚互层组合, 局部可见钙质砂岩、灰质粉砂岩和生屑灰岩的混积岩。发育块状层理、板状斜层理、槽状斜层理、楔状交错层理、冲洗层理、平行层理、正粒序层理、逆粒序层理。常见植物碎片, 可见生物遗迹(生物扰动、钻孔

等), 冲刷面构造(图版 I a-e), 局部含铁质结核、黄铁矿、海绿石。

LW 3-X-X 井第二、三、四次取芯均为珠海组地层, 自下而上第四次取芯岩芯特征为底部泥岩段几乎包括了全套的 *Zoophycos* 和部分 *Nereites*, *Cruziana* 遗迹相组合, 唯独没有滨海及陆上的 *Skolithos* 遗迹相组合(图 8), 指示外陆架至陆坡较深水的环境, 间歇受到重力流边缘相的影响。生物的多样性反映了受浊流的影响较小, 说明陆架边缘三角洲及其伴生的重力流海底扇主体尚未推进至此; 中部砂岩虽多 *Cruziana* 遗迹相组合, 但种属单调, 且泥岩夹层中仍为 *Zoophycos* 遗迹相, 说明浅海的造迹生物是随重力流搬运至深水的(图 9); 上部泥岩虽然是大套厚层泥岩, 但水平层理不多, 仅隐约见斜层或交错层理, 反映沉积时的坡度较大, 见少量 *Nereites* 遗迹相组合, 表明为深水环境。此外, 同属于珠海组下部的 LW X-I-1(3 193.56 m)、LW Y-I-1(2 945.52 m) 并取芯段发现了抱球虫灰岩(图 10), 这也表明珠海组早期沉积的环境为上陆坡深水环境。LW 3-X-X 井第二、三次取芯岩芯总体呈下细上粗的反旋回特征, 主要发育三角洲前缘的各种微相, 由陆棚→三角洲前缘→前三角洲组成的连续强烈进积序列, 形成了典型的三角洲前积楔沉积体系。该体系主要出现在海平面下降的低位体

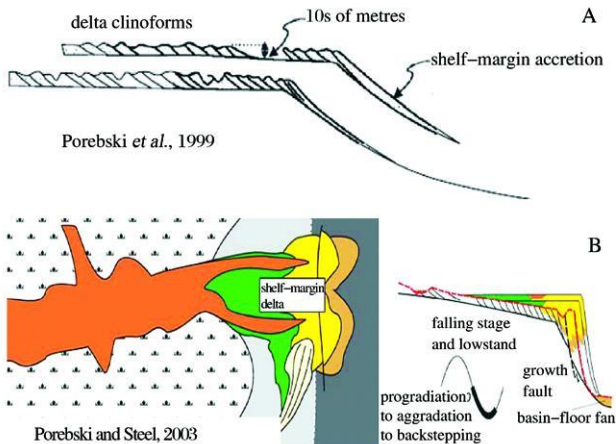


图 7 陆架边缘三角洲的沉积特征

Fig 7 Features of deposition from shelf margin delta

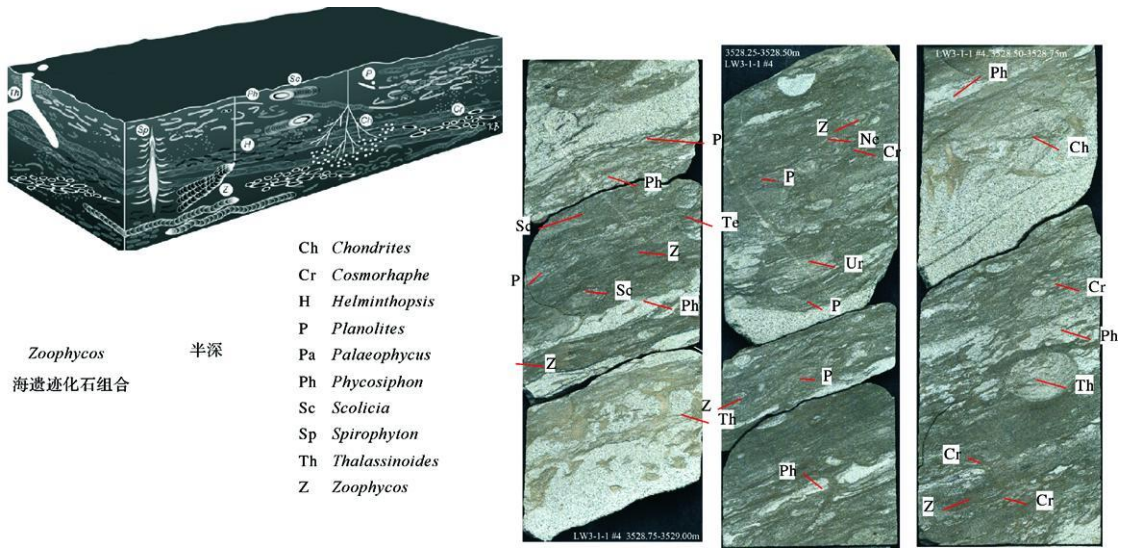


图 8 LW 3-X-X 第四次取心底部泥岩遗迹化石组合 (据吕明, 内部资料)

Fig 8 Trace fossils in bottom mudstone of the fourth cores in LW 3-X-X (from Lu Ming unpublished data)

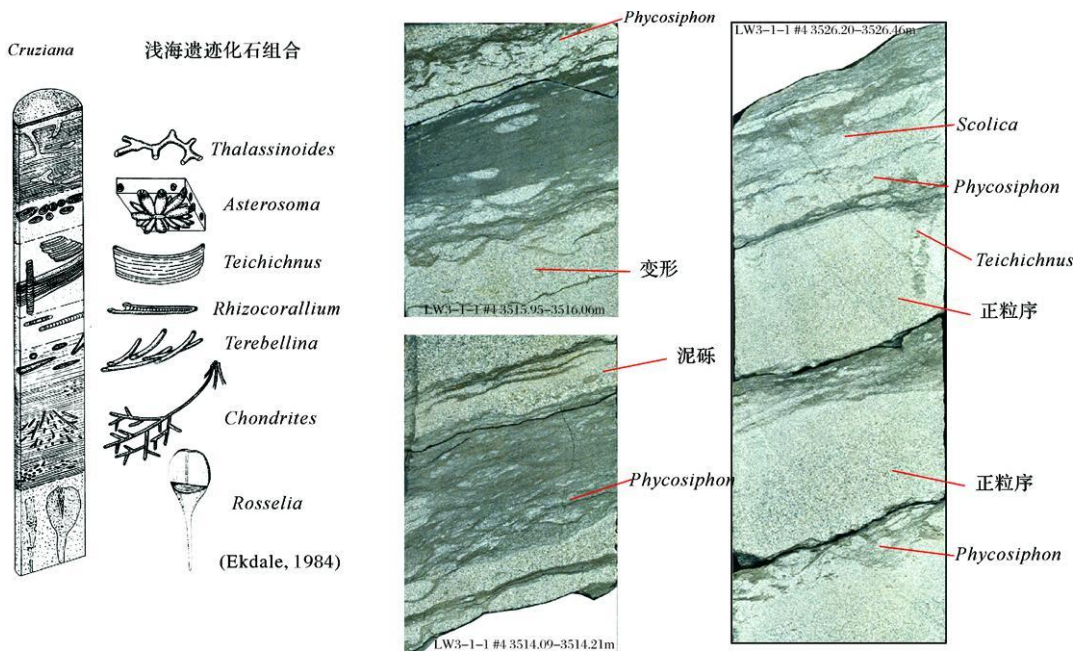


图 9 LW 3-X-X 第四次取心中部砂岩遗迹化石组合 (据吕明, 内部资料)

Fig 9 Trace fossils in middle sandstone of the fourth cores in LW 3-X-X (from Lu Ming unpublished data)

系域, 有利储层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, 发育板状斜层理、槽状斜层理等沉积构造 (图版 I b-e)。还可见 Cruziana 浅海遗迹化石组合, 以上特征表明 LW 3-X-X 第二和第三回次取心段为浅海陆架—陆架边缘三角洲沉积体系。珠海组的以上沉积特征正好与陆架边缘三角洲的发育过程特征相吻合。当陆架

边缘三角洲尚未推进至白云凹陷南侧时, 即珠海组早期沉积环境为上陆坡深海环境这与 LW 3-X-X 第四次取芯底部的沉积特征相吻合 (图 11 A), 随着三角洲的向南推进, 由图 2 可知在陆架坡折带快速堆积的前积体在高坡度的陆坡上部稳定性很差, 常常会形成重力滑塌, 使陆架边缘三角洲前缘沉积物发生二次搬运滑向深水陆坡。因此, 最先到达深水陆坡的应该是这些深水重力流沉积物, 这与第四次取芯的中、上部沉

积特征吻合(图 11 B); 其后, 三角洲进一步推进前期的重力流沉积物又会被后期进积三角洲前积楔和稳定阶段的浅海陆架沉积所覆盖(图 11 C), 这与第二、三次取芯的沉积特征吻合。

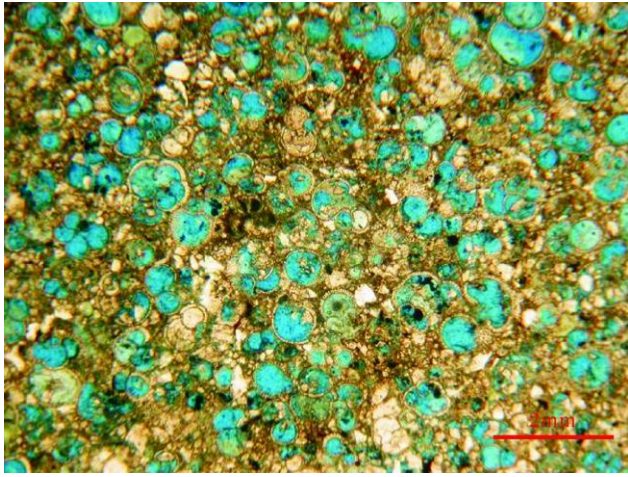


图 10 LWX-1-1 珠海组抱球虫灰岩, 3193.56m
(据郑荣才, 内部资料)

Fig 10 Globigerinid marl in Zhuhai Formation of LWX-1-1
(from Zheng Rongcai unpublished data)

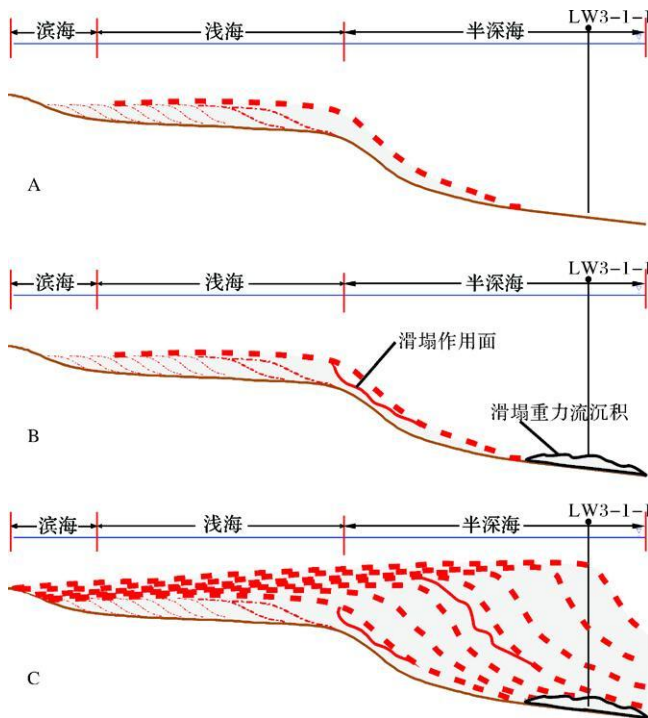


图 11 珠海组陆架边缘三角洲进积示意图

Fig 11 Features of deposition from shelf margin delta

综上所述, 珠海组在垂向上形成了下部为深水重力流沉积, 中、上部为陆架边缘三角洲前积楔沉积, 顶部为主要发育于进积晚期海平面缓慢上升或相对稳

定阶段的浅海陆架沉积, 并且由于陆架边缘三角的推进作用使浅水陆架的范围向南扩张, 至 23.8 Ma 达到了最大范围。这也与该时期陆架坡折带位于白云凹陷南侧的推测相吻合。

3.2 中新世生长断层复杂化的陆架边缘三角洲与斜坡扇体系

23.8 Ma 以后陆架坡折带稳定在白云凹陷北坡, 白云凹陷强烈沉降形成持续的陆坡内盆地, 来自北侧陆架的沉积物基本上被限制在了白云凹陷, 这是白云凹陷沉积速度比周边高出许多的重要原因^[19]。

白云凹陷中新世地层包括: 珠江组、韩江组和粤海组, 其中珠江组已经完全固结成岩, 包括有利的覆盖层组合, 并具有区域研究的可对比性, 因此选择珠江组作为主要研究对象。白云深水区最新的六口钻井均钻穿了珠江组, 钻井揭示岩性主要为深灰色、灰色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩与灰色中—细粒、中—粗粒和粗粒岩屑长石砂岩互层组合, 具块状层理、小型沙纹层理、波状层理、水平层理, 部分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。部分砂岩发育变形、撕裂、冲刷面构造(图版 I f-h), 含有菱铁矿结核, 生物碎片、小泥砾、浅水贝壳碎片等。

从岩性、沉积构造等因素分析, 白云凹陷珠江组发育以陆架边缘三角洲斜坡扇为主的沉积体系。在取芯井段可见陆架边缘三角洲前缘水下分流水道沉积, 岩性以粗粒和中—粗粒长石岩屑砂岩为主, 往往由略显正韵律结构的块状层理的单砂体相互截切和连续叠置, 单砂体底部可发育底冲刷构造(图版 I g), 还可见砂岩中的生物碎屑成定向排列(图 12 A); 而且该段砂岩的岩石薄片显示, 矿物分选好, 泥质含量低, 结构成熟度与成分成熟度均较高; 粒度分析数据(图 12 B)也表明该砂岩属于牵引流沉积或成分成熟度较高的砂体二次搬运形成的浊流水道沉积。岩心泥岩段也可见陆架边缘三角洲深水斜坡沉积, 岩性为深灰色、暗色泥岩, 含生物扰动和变形纹层构造发育, 有孔虫等化石发育(图版 I h)。三角洲在河流的推进和相对海平面下降作用下, 逐渐向陆架边缘推进, 形成典型的陆架边缘三角洲, 三角洲前缘带在陆架坡折内发育, 垂向厚度上不断增大, 加之陆架坡折带的活动, 造成三角洲前缘带的碎屑物质不断经过陆架外的水道、下切谷和峡谷向上陆坡内白云凹陷搬运, 形成深水扇体。在取芯井段多处可见该类型沉积, 岩性深灰色、暗色泥岩和粉砂质泥岩为主, 具水平

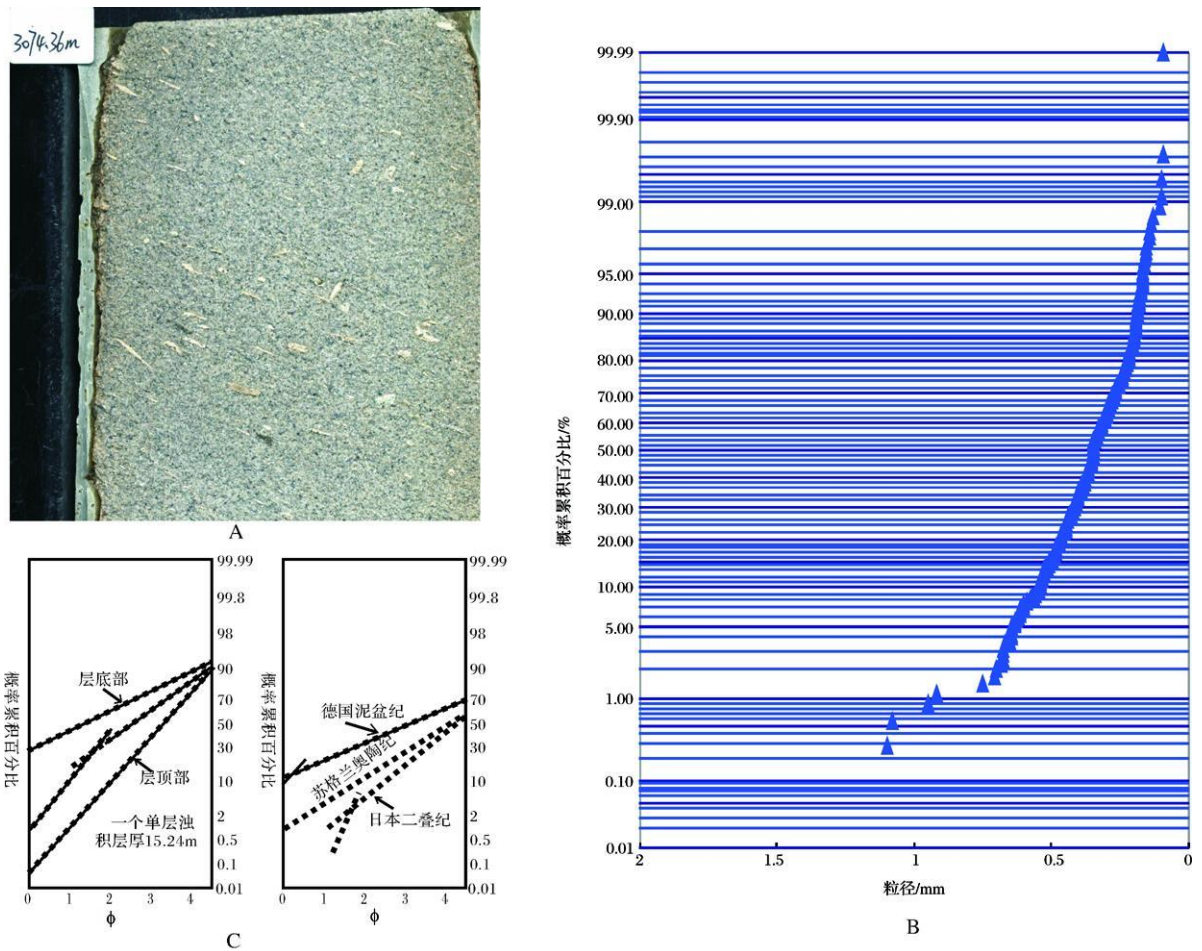


图 12 A LW X-1-1井第一回次取心中段砂岩中见生物碎屑成定向排列; B 该段砂岩粒度统计概率累积曲线反应牵引流沉积特征与典型浊流沉积概率累积曲线(图 C)差异较大

Fig 12 A There are bioclastics in middle sandstone of the fourth cores in LW 3-X-X., which is oriented; B Probability an of integration curve of particle size analysis of the sandstone reflects tractive current character not turbidity current(Fig C)

层理、压实变形和撕裂构造,偶尔夹有等深流沉积或风暴沉积的沙纹层理粉砂岩和滑塌碎屑流沉积的泥质同生砾岩(图版 I i-j)。

此外, LW 3-X-X 井第一回次取芯段见 *Zoophycus*-*Nereites* 遗迹相组合,据 Husky 鉴定的遗迹化石属种有: *Zoophycus*, *Helminthopsis*, *Cosmorhaphes*, *Megagraption*; *Nereites*, 此遗迹化石相组合主要出现在半深海到深海环境静止但有氧的水体中,这也符合珠江组上陆坡的沉积环境。

在地震剖面上也可发现珠江组陆架边缘三角洲的大型前积反射和大量具有下切特征峡谷水道反射(图 13)以及水道下方丘型地震反射波组的深水扇沉积

白云凹陷北坡生长断层平面延伸可达几十至近百公里,走向多为近东西向,部分为北西西向,大部分平面上表现为东西向弧形断裂,剖面上多表现为铲形

积体组合。经过系统的层序地层学研究^[14, 17, 20]发现具有强烈下切特征的峡谷水道主要发育在凹陷的北缘和西部断裂发育区。可见,断层的发育有利于峡谷水道的发育,尤其是长期活动的生长性断层,这种断层具有规模大、活动期长、控制早期断陷沉积的特点,断层形成的裂谷区往往是峡谷水道优先发育的地方,而峡谷水道又是陆架边缘沉积物通往陆坡形成深水扇的主要通道。因此,活动性生长断层对陆架边缘三角洲的改造使得更多的沉积物进入深水陆坡形成深水扇。同时,白云凹陷的强烈下陷为沉积物创造了充分的容纳空间,这就造成了多期深水扇体层层叠置产出,为形成巨厚的有利储层创造了条件。

(图 2),并且这些生长断层垂向上切穿古近系和新近系多套沉积单元,北坡发育的水道具有强烈的削截深切(可达 100~ 200 m s)、侧向迁移和垂向叠加,以及

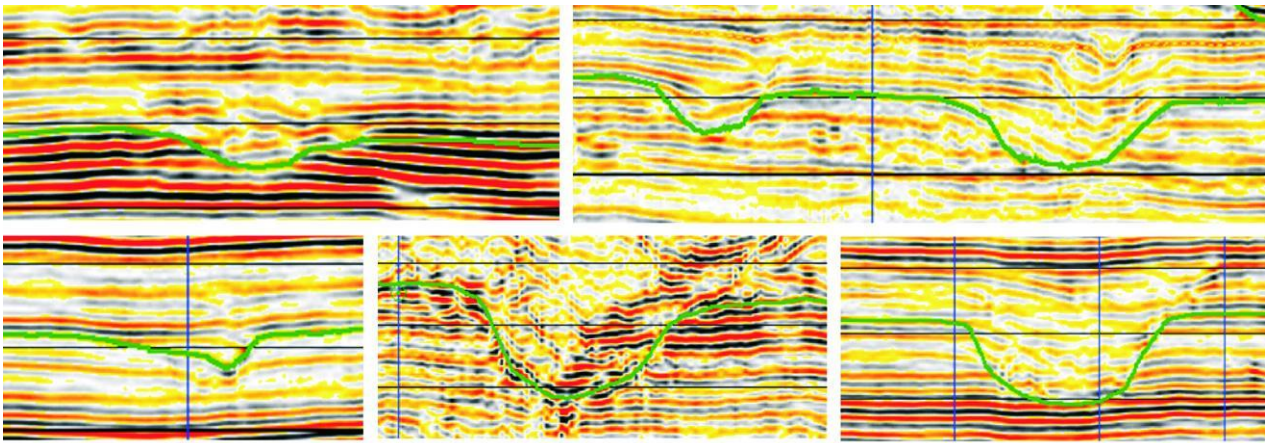


图 13 白云凹陷北坡层序界面下切水道的地震剖面特征 (据庞雄等, 2007) [19]

Fig. 13 Seismic section characters of down-cutting channels in the north side of Baiyun Depression
(Pang X, et al 2007) [19]

从“V”谷向“U”谷变化的特征。更重要的是这些生长断层可以成为油气垂向输导运移的主要通道。研究表明研究区油气主要来源于古近系文昌组和恩平组烃源岩^[21, 22], 但新近系所有储集层均见到油气显示, 且新近系各层间发育较厚的泥岩隔层, 古近系油气要进入到新近系储层, 必须穿越多个分隔层, 这只有靠以断层为主的垂向输导体系才可能实现。多层叠置的深水扇体只有在断层疏导体系的连通下才能成为大型的油气藏^[23]。因此, 生长断层的活动对于白云凹陷深水扇油气储层的发育有建设性作用。

4 讨论和结论

发生在渐新世与中新世界线处 (23.8 Ma) 的重大地质事件, 使研究区地化、古生物、海平面、古地貌均发生了巨大的变化, 在区域沉积记录中也留下了明显的印迹。白云凹陷渐新世珠海组表现为大套的自北向南前积的陆架边缘三角洲沉积体系, 在珠海组末期陆架边缘已经推移至边缘凹陷南缘, 这时白云凹陷整体处于浅水陆架—陆架边缘环境, 因此珠海组顶部沉积了浅海陆架沉积。23.8 Ma以后白云凹陷快速沉降, 并且迎来了一次大的海侵作用, 导致陆架边缘跃迁至白云凹陷北侧, 同时在白云凹陷西、北缘形成了一系列生长断层, 白云凹陷转变为深水环境, 形成了巨大可容纳空间, 在这样的环境下珠江组形成了陆架边缘三角洲与斜坡扇沉积为主的沉积体系, 三角洲前缘带在陆架坡折带内发育, 垂向厚度上不断增大, 加之陆架坡折带的生长断层活动频繁, 造成三角洲前缘带的碎屑物质在重力作用不断经过陆架外的水道、

下切谷和峡谷向上陆坡内白云凹陷搬运, 形成深水扇体。而峡谷水道体系主要发育在凹陷的北缘和西部断裂发育区, 说明断层的发育, 尤其是生长型断层, 有利于峡谷水道的发育, 从而为陆架边缘三角洲—峡谷水道—白云深水扇的“源—渠—汇”耦合系统的发育提供了便利。同时, 这些生长断层垂向上切穿古近系和新近系多套沉积单元, 成为油气垂向输导运移的主要通道, 为多层叠置的深水扇体成为大型的油气藏储集体创造了条件。

参考文献 (References)

- Januszczak N, Eyles N. ODP drilling leads to a new model of shelf and slope sedimentation along the Antarctic continental margin [J]. *Geoscience Canada*, 2001, 28(4): 203-210.
- 武强, 解习农, 姜涛, 等. 陆架边缘三角洲的研究现状及其意义 [J]. *海洋地质动态*, 2005, 21(3): 1-5 [Wu Qiang, Xie Xinong, Jiang Tao, et al. The present situation and meaning of research on shelf margin deltas [J]. *Marine Geology Letters*, 2005, 21(3): 1-5].
- Zhu M Z, Stephan G T M, Pang X, et al. Comparison of characteristics and evolution of two submarine canyon systems in two Cenozoic post-rift continental slope basins along the northern margin of the South China Sea [C]. *AAPG Meeting Poster*, 2005.
- Lang S C, Powell R, Boyd R, et al. Seismic and multibeam expression of a clastic shelf to deepwater sediment delivery system, eastern Australian continental margin [C] // Anonymous. *Abstracts Volume of AAPG 2006 Annual Convention*, 2006, 15-60.
- Huppertz T J, Piper D J W. The influence of shelf-crossing glaciation on continental slope sedimentation, Flemish Pass, Eastern Canadian continental margin [J]. *Marine Geology*, 2009, 265(1-2): 67-85.
- Edward M B. Upper Wilcox-Rosita delta system of South Texas growth-faulted shelf-edge deltas [J]. *AAPG Bulletin*, 1981, 65: 54-73.
- Winker C D. Cenozoic shelf margins, northwestern Gulf of Mexico [C] // Morad M A, Kilgore J E, Cameron Jr D K, eds. *32nd Ann. Meet-*

- ing 32 Gulf Coast Ass Geol Societies New Orleans 1982: 427-448
- 8 Suiter JR, Berryhill Jr H L. Late Quaternary shelf margin deltas northwest Gulf of Mexico [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69: 77-91
- 9 Elliot T. Deltaic systems and their contribution to an understanding of basin-fill successions [M] // Wateley M K G, Pichering K T, eds. Deltas Sites and Traps for Fossil Fuels. Geol Soc Spec Publ, 1989, 41: 3-10
- 10 Reading H, Collinson JD. Clastic Coasts [M] // Reading H G, eds. Sedimentary Environments Processes Facies and Stratigraphy. Blackwell Press, Oxford, 1996: 154-231
- 11 Porebski S J, Steel R J. Shelf margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands [J]. Earth-Science Reviews, 2003, 62: 283-326
- 12 Porebski S J, Steel R J. Deltas and sea-level change [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76: 390-403
- 13 Steel J R, Cristian C, Andrew L P, et al. Shelf and shelf margin growth in scenarios of rising and falling sea level [J]. Special Publication-Society for Sedimentary Geology, 2008, 90: 47-71
- 14 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): 18-23 [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): 18-23]
- 15 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]
- 16 邵磊, 李献华, 汪品先, 等. 南海渐新世以来构造演化的沉积记录——ODP 1148 站深海沉积物中的证据 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 539-544 [Shao Lei, Li Xianhua, Wang Pinxian, et al. Sedimentary record of the tectonic evolution of the South China Sea since the Oligocene-Evidence from deep sea sediments of ODP Site-1148 [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(4): 539-544]
- 17 祝彦贺. 南海古珠江体系沉积过程响应及储集体分布特征 [D]. 北京: 中国石油大学工学博士学位论文, 2009: 28-51 [Zhu Yanhe. The response of sedimentary to development processes of ancient Pearl River system and reservoirs distribution in the South China Sea [J]. Beijing: China University of Petroleum, 2009: 28-51]
- 18 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运用 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(4): 1-18 [Qing Guoquan. Application of micropaleontology to the sequence stratigraphic studies of late Cenozoic in the Zhujiang River Mouth Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1996, 16(4): 1-18]
- 19 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 64-166 [Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. The Pearl River Deep-Water Fan System & Petroleum in South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2007: 64-166]
- 20 庞雄, 陈长民, 施和生, 等. 相对海平面变化与南海珠江组深水扇系统的响应 [J]. 地质前沿, 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 代一丁, 庞雄奇. 珠江口盆地珠二坳陷石油地质特征 [J]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(3): 169-174 [Dai Yiding, Pang Xiongqi. Petroleum geological characteristics of Zhu II depression Pearl River Mouth basin, China [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999, 13(3): 169-173]
- 22 江德昕, 杨惠秋. 珠江口盆地早第三纪油源岩形成环境 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 469-474 [Jiang Dexin, Yang Huiqiu. Original environment of Eocene petroleum source rocks in the Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 469-474]
- 23 于水明, 梅廉夫, 施和生, 等. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡断层与油气成藏关系 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(5): 561-579 [Yu Shuming, Mei Lianfu, Shi Hesheng, et al. Relationship between faults and hydrocarbon accumulation in Panyu low massif and north slope of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(5): 561-579]

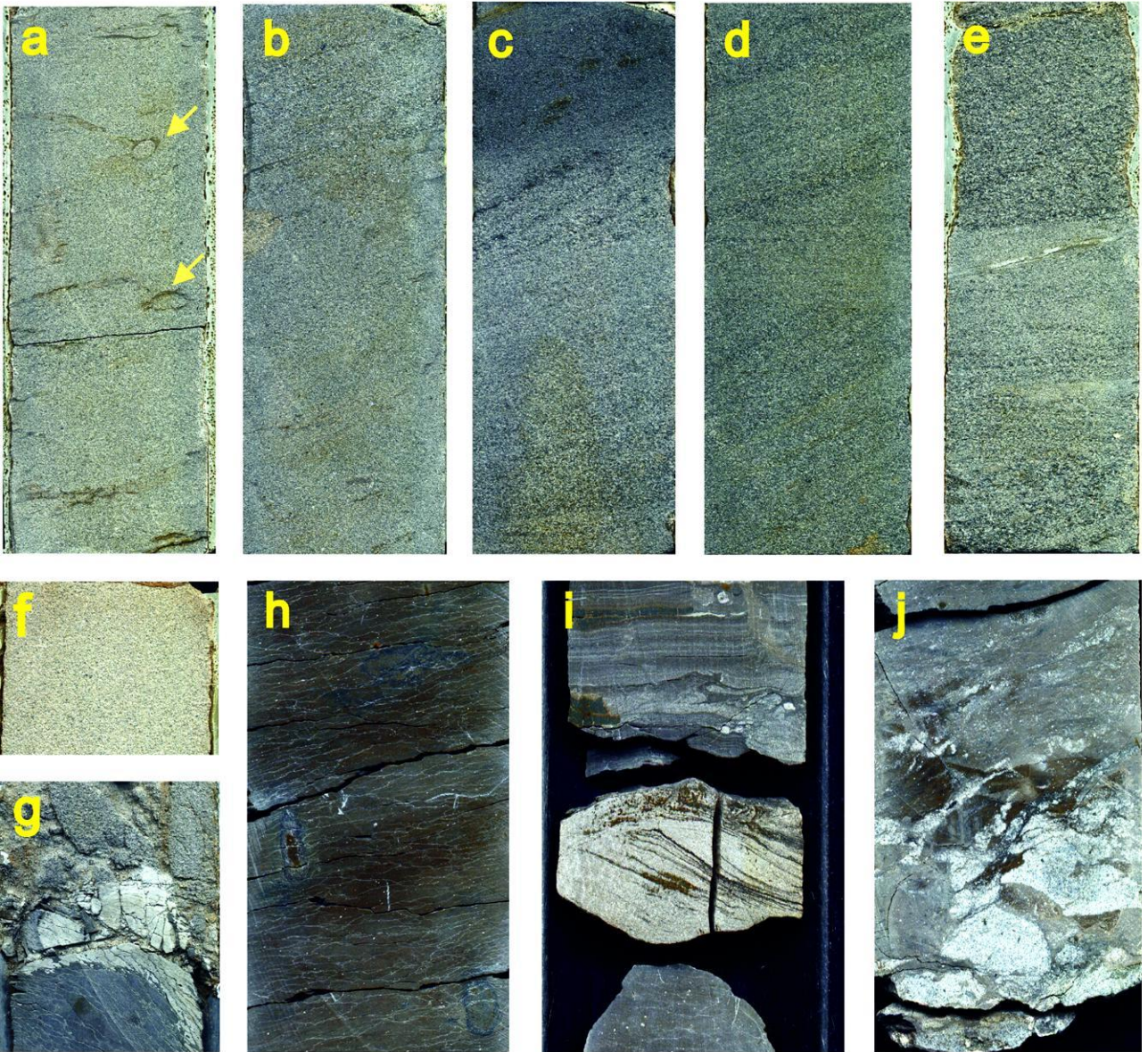
Sedimentary Responses of Retreating Shelf Break from Oligocene to Miocene, in Deep Water Area of Baiyun Depression, South China Sea

XU Qiang¹ WANG Ying-min² WANG Dan¹ LI Dong²

(1 Research Center of CNOOC, Beijing 100027; 2 China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract Retreating Shelf Break occurred from Oligocene to Miocene in deep water area of Baiyun depression, South China Sea, which controlled the development and distribution of sedimentation in the study area. And, to some extent, effective reserves are formed. Based on the latest drilling data, detailed sedimentary analysis and meticulous interpretation of long cable, high quality, three dimensional seismic data, research of sedimentary responses of retreating shelf break is carried out, meanwhile integrating the theories of shelf margin delta, which indicates that the responses of shelf break is shelf margin delta progradational system of Zhuhai Formation in Oligocene and growth faults complicating shelf margin delta and deep-water fan system of Zhujiang Formation. This discovery will be favorable for oil and gas exploration of Baiyun Depression.

Key words Baiyun Depression, deep-water area, shelf break, shelf margin delta, deep-water fan



图版 I 说明: a~ e LW 3-1-1 井珠海组岩心沉积构造。a 浅灰色细粒岩屑长石砂岩, 块状层理, 具水平生物钻孔 (黄色箭头所示), 孔径 0.5~1.0 cm, 3 132 m; b 上部具板状斜层理浅灰色中-细粒岩屑长石砂岩, 下部含泥纹粉-细粒砂岩组成逆粒序结构, 含少量钙质胶结斑块和生物扰动构造, 3 133.64~3 133.89 m; c. 距顶 11 cm 处为底冲刷面, 其上为灰色中-粗粒长石岩屑砂岩, 具槽状斜层理: 其下为中-细粒岩屑长石砂岩, 具板状斜层理, 3 138.64~3 138.89 m; d 灰色中-粗粒岩屑长石砂岩, 发育双向倾斜的楔状交错层理, 3 139.14~3 139.39 m; e 距顶 10 cm 处都为冲刷面, 其上依次为具平行层理, 浅灰色中-粗粒岩屑长石砂岩和具正粒序的灰色块状极粗粒岩屑砂岩, 3 132.04~3 132.29 m。f-j LW 3-1-1 井珠海组岩心沉积构造。f 浅灰色块状中-粗粒砂岩, 具明显下细上粗逆粒序层理, 3 069 m; g 距底 5 cm 为底冲刷面, 其上为极疏松灰色粗粒砂岩; 其下为具纹层变形的暗色泥岩, 3 066 m; h 泥岩中生物扰动构造和变形纹层构造发育, 可见有孔虫等化石发育, 可能为前陆架边缘三角洲斜坡泥岩, 3 059 m; i 下部为灰色泥岩, 具生物扰动和变形纹层构造, 中部为浅灰色粉-细砂岩, 具小型沙纹层理, 向上为波状, 可能为丘状层理的部分, 上部深灰色粉砂岩见变形构造过渡到水平层理。可能为一次风暴沉积, 或者陆架环流沉积, 3 058 m; j 深灰色、暗色泥岩夹灰白色砂岩条带, 下部砂岩层主要为生物遗迹、变形和撕裂状, 底部为侵蚀面, 其中有比较多的泥质-菱铁质砾片, 顶部泥岩中有生物遗迹、包卷、变形砂。泥岩中生物扰动和变形纹层构造发育, 有孔虫等化石发育, 3 062 m。