

珠江口盆地番禺低隆起东部珠江组 沉积环境的恢复

李小平¹, 施和生¹, 杜家元^{1,2}, 张忠涛¹, 郝建光¹

(1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司; 2 长江大学地球科学学院)

摘要 对珠江口盆地番禺低隆起东部 L16 井中新统珠江组的岩心观察分析, 岩性包括碎屑岩、碳酸盐岩以及碎屑-碳酸盐的混积岩。珠江组可划分为 11 种沉积微相类型; 建立了三角洲—滨岸—碎屑与碳酸盐混积滨岸—碳酸盐台地—浅海陆棚(23.8 Ma~18.5 Ma)沉积演化序列。地震地质解释证实了珠江组早期东沙三角洲的存在; 古珠江三角洲与东沙三角洲构成了研究区珠江组下段的沉积主体。恢复了研究区珠江组沉积相及其演化, 重点刻画了 SQ₂—TST 时期由陆到海的变迁, 而海平面变化是这一变迁的主要控制因素。

关键词 珠江口盆地; 番禺低隆起; 珠江组; 沉积相; 沉积环境; 海平面变化

中图分类号: TE121.3¹

文献标识码: A

1 概况

研究区位于珠江口盆地番禺低隆起、东沙隆起、珠二坳陷的交界区(图 1), 本区经历了曲折的勘探历程。1987 年在东沙隆起的中新统珠江组下段发现了生物礁油藏(LH11-1 油田), 其后在该油田南部的钻井几乎全部为干井, 导致了油田往南至白云凹陷一带经历了近 20 年的勘探沉寂期。直到 2009 年

在白云凹陷深水处, WL-19 井发现油层后, 凹陷附近的构造目标被重新梳理, 2011 年 L16 井在珠江组下段发现了厚油层(地质储量达 1800×10⁴t), 该井距东北方向的 LH11-1 油田约 40 km(图 1)。

受到勘探沉寂期地质和地震资料严重匮乏的限制, 前人对于珠江口盆地东部地区第三系三级层序界面的划分与对比^[1-8]和所作的以三级层序为单元的沉积体系平面图, 以及对古珠江三角洲—

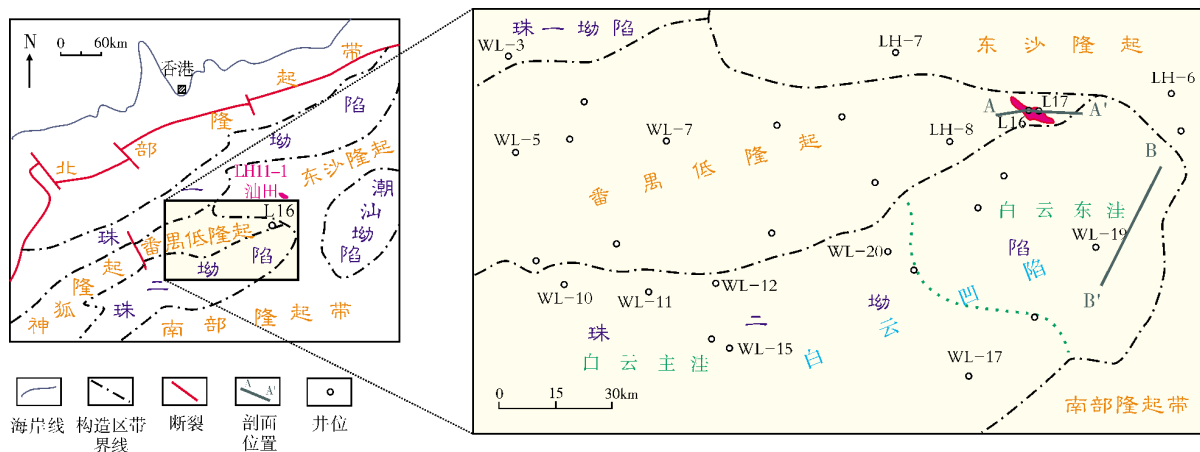


图 1 研究区构造位置图

收稿日期: 2013-10-21; 改回日期: 2014-04-07

本文受国家“十二五”重大专项“近海隐蔽油气藏勘探技术”(编号: 2011ZX05023-002)资助

李小平: 1981 年生, 工程师。2007 年毕业于中国地质大学(北京), 获硕士学位。主要从事石油地质学、沉积学研究。通讯地址: 510240 广东省广州市海珠区江南大道中 168 号海洋石油大厦; E-mail: 64785190@qq.com

深水扇体系的“源-渠-汇”体系^[9]等认识,在研究区内主要是靠地质模式推测而缺乏实证性。因此,研究区在珠海组—珠江组时期,东沙隆起的物源提供能力、物源供给形式、以及沉积环境变化与构造运动和相对海平面变化的耦合关系等,均需要深化研究。

本次研究所依赖的新采集的连片三维地震覆盖了研究区,且L16井珠江组下段顶部进行了近80 m的连续取心和分析化验等,这些均为本次沉积相的深化研究奠定了基础。笔者通过对L16井岩心、薄片、测井及相关地震剖面的综合研究,恢复了目的层珠江组沉积时期的环境及演化,并重点刻画了珠江组沉积早期由陆相到海相的沉积变迁及主控因素。

2 L16井珠江组下段岩心沉积微相分析

2.1 珠江组层序划分

研究区的珠江组主要划分为2个三级层序(图2),其中,主要勘探目的层珠江组下段对应三级层序SQ₁(SB 23.8 Ma—SB 21.0 Ma)和SQ₂的海侵体系域(SB 21.0 Ma—MFS 18.5 Ma)。珠海组沉积早期,番禺低隆起一直暴露于地表,随着相对海平面上升^[10],低隆起逐渐淹没,并开始接受厚层海相砂岩沉积,物源主要来自古珠江三角洲^[9]和东沙隆起^[11],往上含砂率逐渐降低,构成一个海侵序列。珠江组下段发育一套厚层灰质—白云质中粗砂岩,顶部碳酸盐含量增加;平面上碳酸盐含量自西向东增加,直至过渡为东沙隆起的石灰岩;珠江组上段发育厚层泥岩。

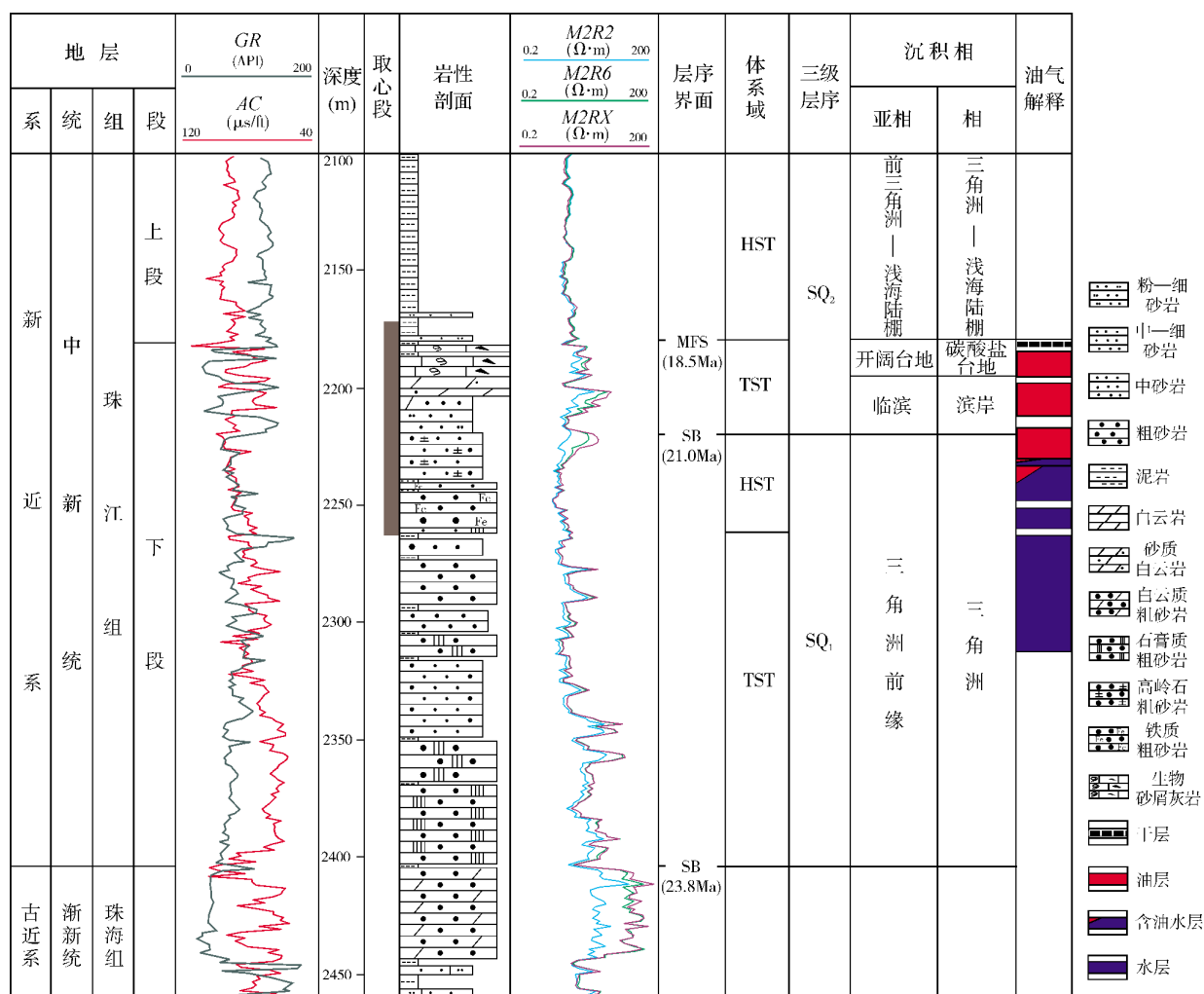


图 2 番禺低隆起 L16 井地层综合柱状图

HST 高水位体系域; TST 海侵体系域

2.2 单井岩相划分

通过对L16井岩心观察,采用Miall^[12]的构形要素分析法,划分出10种岩相(表1,图3)。在珠江组下段顶部的生物碎屑灰岩段中,见到藻团块与富海绿石砂岩混杂,以及大型有孔虫化石(图4)。

2.3 沉积水动力分析

粒度概率累积曲线可以反映不同的沉积动力条件,表现在直线段数目、线段分布区间、含量百分比、线段坡度、混合度、线段间交切点以及粗细尾端切割点位置等的差异。通过对L16井取心段近100个点的粒度分析,选取少量代表性点,编制了粒度概率累积曲线图(图5),由图可见,取心段以跳跃次总体为主,包

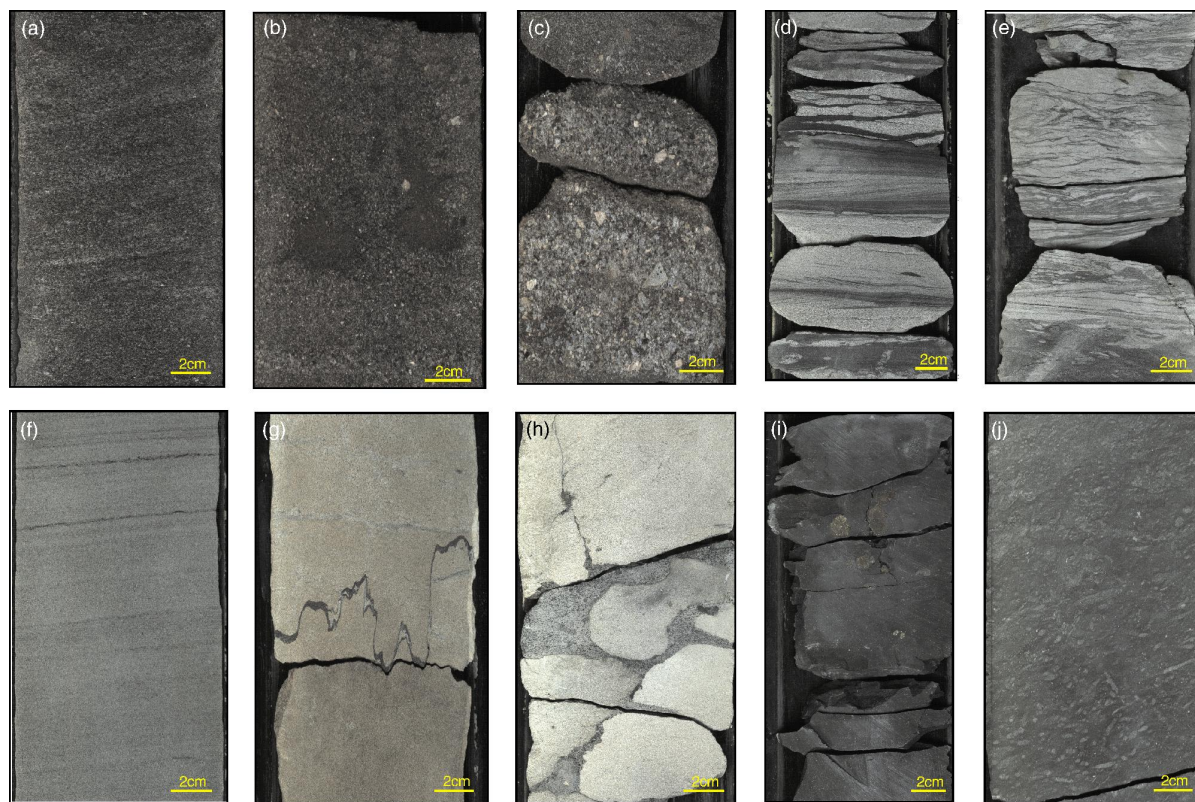
括单段式、双段式、三段式等,滚动和悬浮组分基本未见,而且曲线样式与深度没有明确的关系。直线段坡度较陡,反映分选较好,粒径 ϕ 值大部分位于0~4.5之间,覆盖了砂级颗粒的各个粒级。从下往上,下部的曲线斜率相对较小,且是单段式,说明可能有河流作用的影响;往上斜率增加,说明分选变好,同时跳跃次总体变成双段式,可能与海滩的来回动荡水流有关^[13-14]。

2.4 测井曲线特征

L16井珠江组下段下部的GR曲线呈低幅微齿化箱状,反映了大套砂岩沉积,到中上部则呈高幅齿状(泥岩)与低幅箱状(砂岩)间互,呈现厚砂厚泥的特征(有部分为碳酸盐岩);珠江组上段为厚层泥岩,对应高幅值GR曲线(图2)。

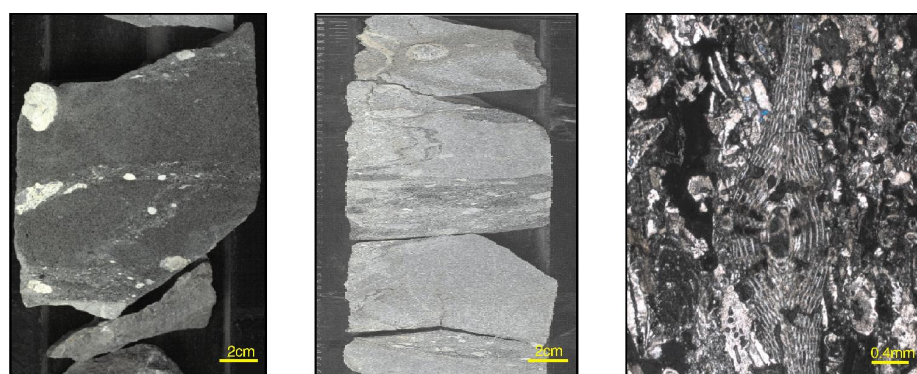
表 1 番禺低隆起 L16 井珠江组岩相类型

岩相代码	岩相名称	主要岩性	沉积构造与相标志	沉积环境与成因解释
Gm	块状层理砂岩相	灰褐色砂砾岩,向上变细为含砾中砂岩。砾石大者 10mm,棱角状;普遍为 3-4mm,次棱角状,分选较差	块状层理,颗粒支撑,与下伏地层冲刷接触	高能、强水动力环境,三角洲水下分流河道
Sm	块状层理砂岩相	浅灰褐色细—中砂岩和灰褐色含砾粗砂岩	块状层理,偶见脉状层理。砾石成分为岩屑、泥炭屑等,次棱角—次圆状,分布零散。局部层段具褐铁矿胶结,可见生物扰动	沉积速率快,高能环境,三角洲水下分流河道
Sp	板状交错层理砂岩相	浅灰色细—粗砂岩和含砾粗砂岩	具有高角度的板状交错层理。大的水平和垂直虫孔常见。局部可见褐铁矿胶结,胶结程度不均匀,呈斑状浸染	水动力较强,水流方向有变化,三角洲水下分流河道
Sh	平行层理砂岩相	浅灰色极细—中砂岩和含砾中砂岩	平行层理,可见极小的水平生物钻孔,层理由重矿物的含量多少表现。可见隐蔽的生物扰动现象	水浅流急,三角洲前缘水下分流河道沉积,或前滨的沙滩沉积
Fw	波状层理粉砂岩相	浅灰色粉砂岩和泥质粉砂岩	波状层理。生物扰动丰富,水平或垂直生物钻孔常见	波浪或流水作用形成的小型沙纹迁移
Fh	水平层理粉砂岩相	浅灰色粉砂岩	水平层理,偶见丘状交错层理。生物扰动丰富,水平或垂直生物钻孔常见,部分虫孔将层理钻穿扰乱	波浪改造的陆棚沙席
Ff	鱼骨状交错层理粉砂岩相	浅灰色粉砂岩与粉砂质泥岩	双向交错层理,发育在厚层泥岩中	潮汐改造产物,三角洲河口坝受潮汐改造
M	暗色泥岩相	深灰色泥岩	往往含粉砂,与粉砂岩一起呈水平层理或韵律层理。生物扰动发育,虫孔多见	前三角洲—陆棚泥
Td	混积岩相	含陆源碎屑白云岩相或陆源碎屑质白云岩相,含白云石砂岩或白云质砂岩	浅灰色,有时含泥质条带,呈波状层理。生物扰动发育,虫孔多见。可见微断层以及生物碎屑溶孔	滨岸碎屑与碳酸盐的混积
Co	生物碎屑灰岩相	生物碎屑主要有棘屑、红藻、有孔虫。棘屑与藻屑含量略占优势,有孔虫个体较小,一般小于 0.5mm,但多数保存完整	浅灰色,有时含泥质条带,呈波状层理。生物扰动发育,虫孔多见。可见白色方解石脉,缝合线构造。部分可见藻团块,富含海绿石,可与富海绿石砂岩呈碎块混杂堆积	安静、较浅的水体,重力流成因,可能反映斜坡沉积



- (a) 灰褐色含细砾中砂岩。隐约可见板状交错层理。板状交错层理砂岩相。2259m
 (b) 灰褐色含细砾中粗砂岩。其中铁质胶结不均匀, 呈斑块状。块状层理砂砾岩相。2254.8m
 (c) 灰褐色砂砾岩与下伏地层冲刷接触。砾石成分主要为岩屑, 分选磨圆均较差, 可见平行层理。块状层理砂砾岩相。2253.9m
 (d) 浅灰色细砂岩与深灰色泥岩互层。波状层理, 也可见双向交错层理, 反映了潮汐作用对砂体的改造。鱼骨状交错层理粉砂岩相。2240.9m
 (e) 灰色细砂岩。可见丰富的脉状层理与波状层理, 虫孔发育, 层理面之间互相切割, 反映水动力的多变。波状层理粉砂岩相。2217.1m
 (f) 浅灰色极细—细砂岩。平行层理, 可见小的水平生物钻孔, 层理面上可见炭屑富集, 从而呈现平行层理特征。平行层理砂岩相。2214.5m
 (g) 灰褐色石灰岩。见缝合线构造, 含油。生物碎屑灰岩相。2193.8m
 (h) 浅灰色石灰岩。以砾石出现于灰绿色富海绿石砂岩中, 反映重力流的作用。生物碎屑灰岩相。2186.9m
 (i) 深灰色泥岩。可见黄铁矿集合体, 生物碎屑少见, 反映水深安静的环境。暗色泥岩相。2182.6m
 (j) 灰色钙质胶结泥岩。含丰富的水平或倾斜小虫孔, 反映生物作用丰富。暗色泥岩相。2179.5m

图 3 番禺低隆起 L16 井珠江组岩心主要岩相类型特征



- (a) 大小不一的浅灰色藻灰岩团块呈层状分布于富海绿石砂岩中。2184.6m。岩心
 (b) 灰色藻纹层呈波浪状分布, 可见浅灰色藻结核。重力流沉积。2184.2m。岩心
 (c) 生物碎屑灰岩中见大型有孔虫, 呈隐微粒结构。2183.65m。岩心薄片, 单偏光

图 4 番禺低隆起 L16 井岩心藻团块及生物化石特征

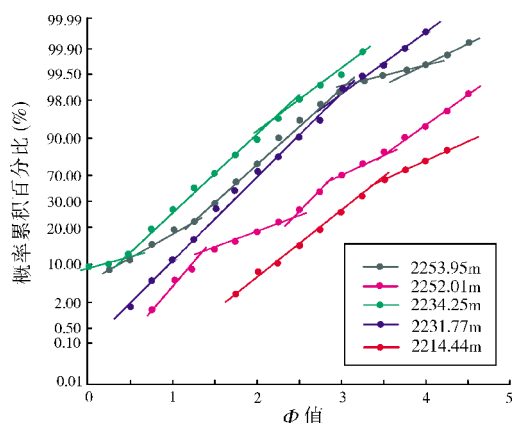


图5 番禺低隆起L16井珠江组取心段部分深度
粒度概率累积曲线

2.5 岩心沉积微相

根据岩心内部结构的韵律、沉积构造、颜色、岩石组合以及测井曲线特征,把取心段细分为十一种微相,包括三角洲前缘水下分流河道、河口坝、水下分流间湾,前三角洲泥,浅海陆棚泥,前滨沙滩、中临滨水下沙坝、混积中下临滨,开阔碳酸盐台地,碳酸盐台地边缘斜坡,陆棚砂席。自下而上,总体上形成了三角洲—滨岸—碎屑与碳酸盐混积滨岸—碳酸盐台地—浅海陆棚的退积序列(图6)。

3 珠江组平面沉积相及其演化

3.1 地震剖面证据

经过井-震标定,在过L16井的地震剖面上(图7),往东靠近隆起区SQ₁层序(SB 23.8Ma—SB 21.0Ma)地层厚度较薄、地震反射较为杂乱,往西则反射连续性逐渐变好。根据区域研究成果,东北方向趋近东沙隆起以碳酸盐岩沉积为主,波组为低频、连续、强振幅,往西南方向,地层厚度增加,中频、连续、中弱振幅的反射逐渐出现,反映了泥质沉积逐渐占据主导。

SQ₂的TST(SB 21.0Ma—MFS 18.5Ma)对应连续、强振幅波组。横向追踪对比发现,表征碳酸盐岩的连续、强振幅反射的范围有所扩大,往西一直延伸到WL-12井附近,混积岩发育区从L16井区西移到WL-11井区一带^[15]。钻井证实,由东往西碳酸盐岩单层厚度逐渐变薄。

SQ₂的HST(MFS 18.5Ma以上)整体为中高频、连续、中弱振幅反射,地层逐层上超到下伏碳酸盐岩强振

幅波组之上(图7),钻井证实珠江组上段为巨厚泥质沉积,应属于北西向古珠江三角洲的组成部分。

在L16井区东南部B—B'地震剖面上(图8),拉平MFS 18.5Ma界面,可以看到珠江组下段西南方向的斜交前积反射发育,反映了东北方向的物源,周缘钻井也揭示了珠江组下段大量的砂质沉积,由此可以推断这种前积反射结构反映了珠江组早期的三角洲体系。

3.2 珠江组平面沉积相及演化

基于前述L16井岩心沉积相与典型地震剖面反射结构的分析,结合前人区域研究成果,本次研究对研究区珠江组的沉积环境进行了恢复,该组沉积时期L16井区经历了三角洲前缘、滨岸、碎屑与碳酸盐混积滨岸、碳酸盐台地和浅海陆棚的沉积演化过程(图9),总体上为一个明显的陆源碎屑后退、碳酸盐进积的沉积序列。

珠江组沉积早期(SQ₁) 研究区西北部为古珠江三角洲体系,东部则由东沙隆起提供物源,东沙三角洲体系向西南方向进入白云凹陷(图9a,图1),L16井区主要发育东沙三角洲前缘的水下分流河道、河口坝、远沙坝、水下分流间湾沉积。

SQ₂—TST早期 河流退缩,三角洲逐渐后退,L16井一带逐渐发育波浪作用为主的滨岸沉积(图9b),包括前滨沙滩、临滨水下沙坝沉积。

SQ₂—TST晚期 随着海侵扩大,波浪影响程度减小,东沙三角洲消失或者迁移到别处,古珠江三角洲又难以到达,研究区逐渐转变为碳酸盐沉积,这期间存在陆源碎屑与碳酸盐角力的过程,总体来说,碳酸盐逐渐占据主导,L16井区发育了生物碎屑为主的碳酸盐台地(图9c)。

SQ₂—HST时期 随着海侵进一步加剧,碳酸盐台地被淹没而无法生长,L16井区以古珠江三角洲的前三角洲—浅海陆棚沉积环境(图9d)为特征,主要以泥质沉积为主,偶有少量细砂,应为陆棚潮流、波浪等作用的产物。

3.3 沉积环境变迁的主控因素

一般而言,层序与沉积相是构造沉降、海平面相对变化及物源三者共同作用的结果,但就本研究区而言,沉积环境的恢复结果表明,海平面变化则是珠江组层序与沉积相的主要控制因素。

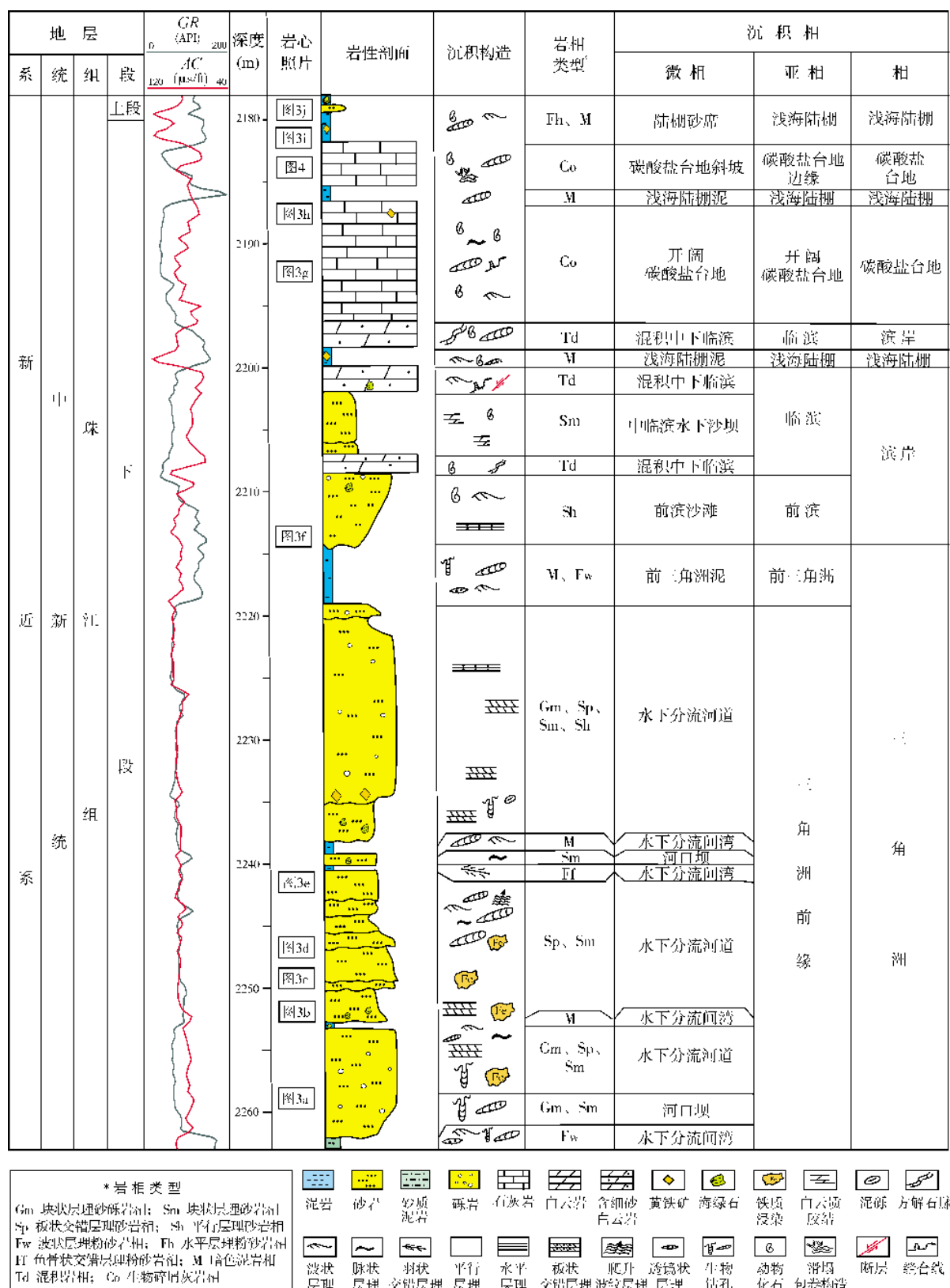


图6 番禺低隆起L16井珠江组取心段沉积柱状图

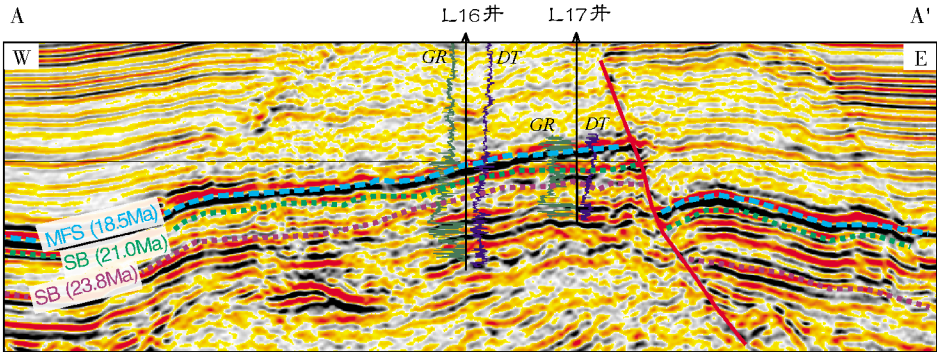


图7 番禺低隆起过L16井东西向地震剖面
A—A'剖面位置见图1

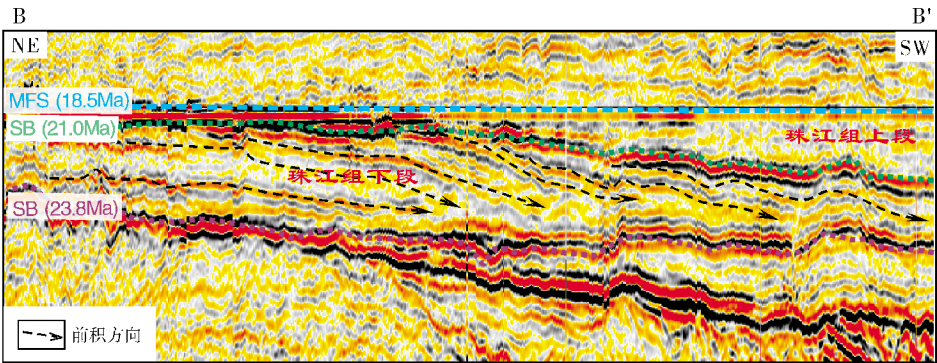


图8 番禺低隆起L16井东南部的层拉剖面
B—B'剖面位置见图1

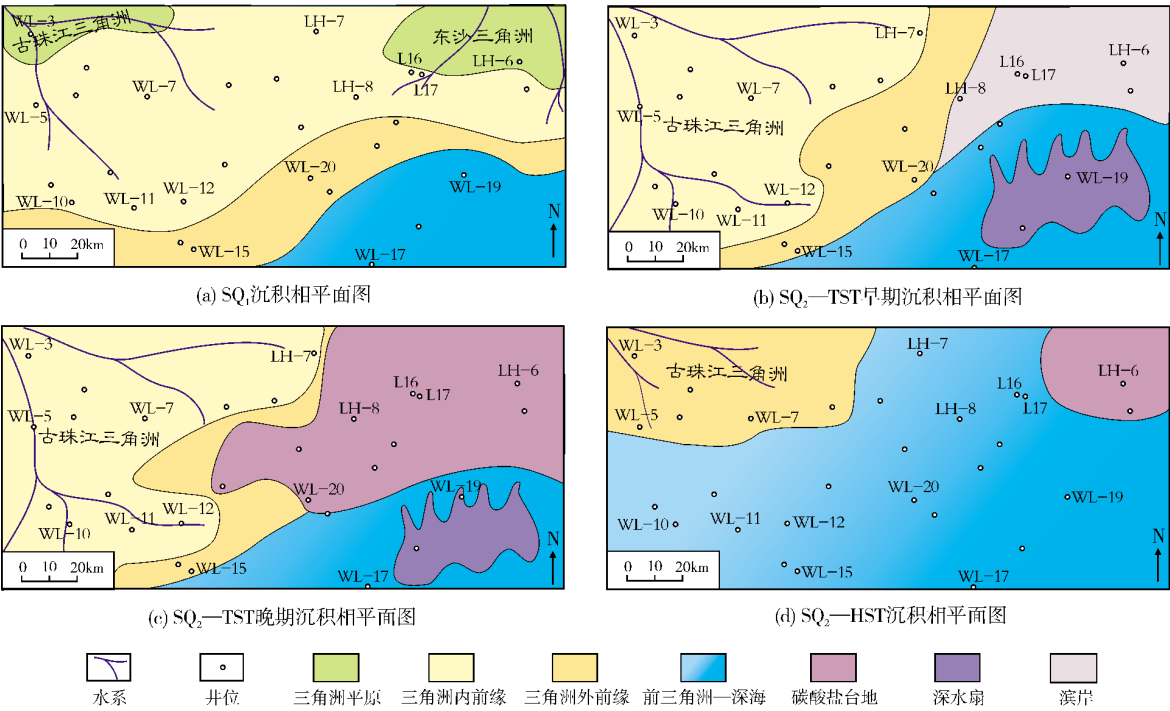


图9 研究区珠江组沉积相平面图

珠海期,海侵逐渐影响本区,至珠江期,研究区进入了快速的裂后沉降阶段^[10],海侵进一步扩大,这对沉积环境的控制作用主要表现为:

(1)河流作用减弱、海洋作用增强(图6);

(2)东沙隆起丧失了提供陆源碎屑的能力,此区逐渐转为碳酸盐沉积为主的环境(生物礁和碳酸盐台地);L16井的岩石记录上,本区早期岩性粗、火成岩岩屑丰富,晚期则主要发育碳酸盐沉积,包括生物介壳碎片以及藻团块(图4);

(3)海水影响了沉积微环境,L16井取心段自下而上呈现一套硬石膏—褐铁矿—高岭石—白云石+硬石膏的成岩矿物序列,既反映了气候的变迁,也说明了海水深度变化对这些成岩矿物的影响^[15];

(4)当本区完全被海水淹没之后,L16井区为前三角洲—浅海陆棚细粒泥质沉积。

4 结 论

(1)珠江口盆地番禺低隆起东部L16井珠江组的岩心段,岩性包括碎屑岩、碳酸盐岩以及碎屑-碳酸盐的混积岩,可划分为11种沉积微相类型;本次研究建立了23.8 Ma~18.5 Ma的沉积演化序列,包括东沙三角洲—滨岸—碎屑与碳酸盐混积滨岸—碳酸盐台地—浅海陆棚,总体上呈现出一个陆源碎屑后退、碳酸盐进积的沉积序列。

(2)地震地质解释证实了珠江组沉积早期东沙三角洲的存在,古珠江三角洲与东沙三角洲构成了研究区珠江组下段的沉积主体。

(3)恢复了研究区珠江组的沉积相及其演化过程,重点刻画了SQ₂—TST时期由陆到海的变迁,而海平面变化是这一变迁的主要控制因素。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 谢丽华,林畅松,董伟.珠江口盆地番禺低隆起珠江组—韩江组沉积体系[J].石油地质与工程,2009,23(2):5-8.
- [4] 谢锐杰,严文芬,杜家元,等.珠江口盆地番禺低隆起韩江组下段层序地层与有利目标预测[J].石油天然气学报,2011,33(2):61-64.
- [5] 董伟,林畅松,秦成岗,等.珠江口盆地番禺低隆起韩江组高精度层序格架和沉积样式与岩性地层圈闭的发育分布[J].现代地质,2008,22(5):794-802.
- [6] 秦成岗,施和生,张忠涛,等.珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡SQ_{21.0}层序陆架坡折带沉积特征及油气勘探潜力[J].中国海上油气,2011,23(1):14-18.
- [7] 侯国伟,于兴河,客伟利,等.番禺低隆起东区中新世早期沉积演化特征[J].石油天然气学报,2005,27(1):26-28.
- [8] 乔博,张昌民,李少华,等.珠江口盆地白云凹陷11.7~10.5Ma多期水道特征研究[J].海相油气地质,2013,18(4):69-74.
- [9] 庞雄,彭大钧,陈长民,等.三级“源-渠-汇”耦合研究珠江深水扇系统[J].地质学报,2007,81(6):857-864.
- [10] 刘安,吴世敏,程卫华.珠江口盆地东沙隆起的沉降史及其动力机制[J].海洋学报,2011,33(6):117-124.
- [11] 李小平,施和生,杜家元,等.珠江口盆地东沙隆起在珠海组—珠江组时期物源提供能力探讨[J].沉积学报,2014,32(4):654-662.
- [12] Miall A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: Lessons from outcrop studies[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(6): 682-697.
- [13] Visser G S. Grain size distributions and deposition process[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1969, 39(3): 1074-1106.
- [14] Walker R G, James N P. Facies models, response to sea level change[M]. Newfoundland: Geological Association of Canada, 1992.
- [15] 李小平,杜家元,丁琳,等.硬石膏-褐铁矿-高岭石-白云石矿物序列成因及古气候研究意义——以珠江口盆地东部LH-3井珠江组为例[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(1):213-221.

编辑:董 庸

Restoration of Miocene Zhujiang Depositional Environment in Eastern Panyu Uplift, Zhujiangkou Basin

Li Xiaoping, Shi Hesheng, Du Jiayuan, Zhang Zhongtao, Hao Jianguang

Abstract: Based on the data of drilled cores from Well L16 in eastern Panyu Uplift, Zhujiangkou Basin, it is shown that the Miocene Zhujiang Formation consists of clastic rock, carbonate rock and mixed clastic/carbonate rock in lithology. 11 depositional microfacies can be divided in Zhujiang Formation. A depositional evolution sequence which includes delta, shoreland, carbonate platform and then shelf is setup from Early to Late Miocene strata. The interpretation of seismic and geological data proves the existence of early Dongsha delta sediments so it is suggested that the Lower Member of Zhujiang Formation, which means the principal depositional part of it, should consist of the ancient Zhujiang delta and the Dongsha delta. Restoration of depositional environment and evolution has described a continuous change from continental to marine deposition in Subsequence SQ₂ (TST) during Miocene Zhujiang, that is a process from retrograding clastic to prograding carbonate deposition.

Key words: Miocene; Zhujiang Fm.; Depositional facies; Depositional environment; Sea level change; Panyu Uplift; Zhujiangkou Basin

Li Xiaoping; MSc., Geology Engineer. Add: Shenzhen Branch Company of CNOOC Ltd., 168 Jiangnan Dadao Zhong, Guangzhou, Guangdong, 510240, China