

珠江口盆地惠州凹陷南部珠江组 混合沉积作用

昌建波, 邹晓萍, 余国达, 黄映仕

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司)

摘要 珠江口盆地惠州凹陷南部珠江组下部广泛发育陆源碎屑岩与碳酸盐岩的混合沉积。通过测井、地震和岩心等资料综合研究了工区混合沉积的岩石学特征、沉积模式和分布规律。研究认为工区混合沉积可分为相缘混合和原地混合,相缘混合主要是在浅海三角洲相和碳酸盐岩台地相边界的结合部位、在低能水动力环境下的细粒陆源碎屑与泥晶碳酸盐的混合沉积,原地混合主要是在三角洲前缘高能水动力条件下的砂级硅质碎屑颗粒与碳酸盐生物碎屑的混合沉积。原地混合沉积对储层的储集性能和渗流特征有显著影响。描述了原地混合沉积的泥岩—碳酸盐岩—砂岩—碳酸盐岩—泥岩相层序,并讨论了陆源碎屑注入、古地形、海平面升降及三角洲迁移等影响透光带范围的因素是如何控制研究区的混合沉积分布的。

关键词 混合沉积; 三角洲前缘; 生物礁; 珠江组; 惠州凹陷; 珠江口盆地

中图分类号: TE121.3⁺2

文献标识码: A

从二十世纪五十年代开始,混合沉积受到国内外学者的关注,国外有关混合沉积的研究案例主要集中在对陆源碎屑岩与海相碳酸盐岩互层的地层序列和演化的描述上,以及相对海平面变化对混合沉积的作用^[1-2],而且在近几年的研究中发现三角洲以及其他的“浊水”环境中也发育有原地碳酸盐沉积,这些碳酸盐沉积物与陆源碎屑一起形成了原地混合沉积^[3-4]。海相地层中的相缘混合在国外文献中虽有一些论述,但是很少有文献涉及三角洲前缘地区强水动力条件下的原地混合沉积^[1,4-8]。国内学者大多研究湖盆低能环境下混合沉积的岩相、成因和控制因素,并指出了混合沉积岩可以作为非常规油气的储层^[9-12];而对海相地层的混合沉积研究则较少,有限的研究工作也只集中在塔里木盆地和南海的沉积盆地^[13-14],对地质记录中的混合沉积以及南海的现代生物礁沉积提出了多种混合沉积的模式^[14-16]。在珠江口盆地尚未发现有关海相地层混合沉积的研究报道,并且国内也没有关注三角洲前缘浊水环境下碳酸盐岩与陆源碎屑岩“原地”混合沉积现象。本

文通过测井、地震和岩心等资料的综合研究,认为珠江口盆地惠州凹陷南部的混合沉积是在同一沉积环境中陆源硅质碎屑与碳酸盐沉积物的相互混合和交替,并探讨了研究区混合沉积的岩石学特征、沉积模式和分布规律,这将丰富珠江口盆地沉积作用的相关内容。

1 地质背景

珠江口盆地是南海北部一个重要的含油气盆地,它处于欧亚、太平洋和印度洋三大板块的交汇处,是一个在加里东、海西和燕山褶皱基底上形成的准被动大陆边缘盆地。盆地结构自北向南依次划分为北部断阶带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带等5个次级构造单元(图1a)。中新世早期—中期,珠江口盆地古纬度为北纬18°左右^[17],古气候适合碳酸盐岩生产者的生长繁衍。

本次研究区域为惠州凹陷南缘与东沙隆起结合部的惠州油田16/08区块,基底为前第三系变质岩和火山岩,发育的地层自下而上依次为始新统文昌组、

收稿日期: 2015-09-24; 改回日期: 2017-05-08

本文受中国海洋石油总公司重大科技专项“南海东部海域低孔低渗油气藏勘探开发关键技术研究与实践(编号: CNOOC-KJ 125 ZDXM 07LTD)”资助

昌建波: 1982年生,工程师,2010年毕业于中国石油大学(北京),获矿产普查与勘探专业硕士学位。现从事油气地质工作。通讯地址: 518000 广东省深圳市南山区后海滨路(深圳湾段)3168号; E-mail: changjb622@163.com

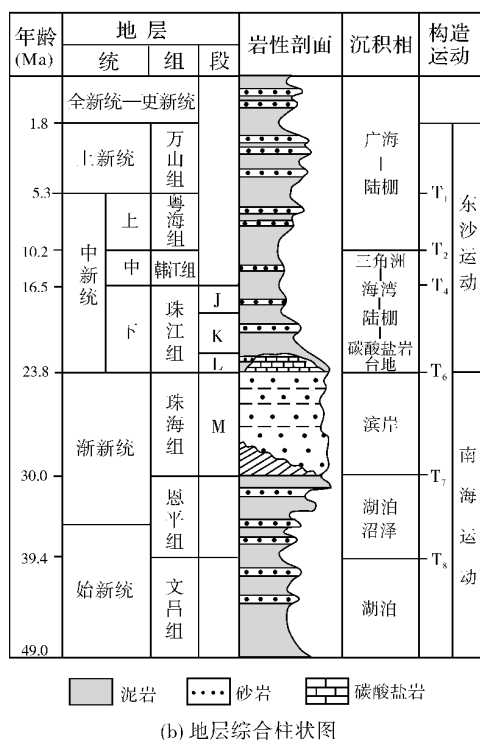
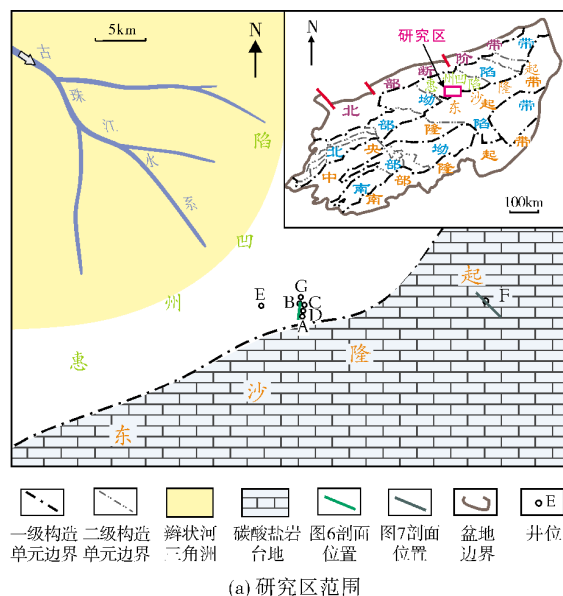


图 1 珠江口盆地惠州凹陷南部研究范围及地层综合柱状图

始新统一渐新统的恩平组、渐新统珠海组、下中新统珠江组、中中新统韩江组、上中新统粤海组、上新统万山组和第四系沉积(图1b)。晚渐新世到早中新世,距今23.8 Ma,惠州凹陷由断陷向凹陷转化,沉积了珠海组和珠江组^[18]。珠江组是一套以三角洲体系为

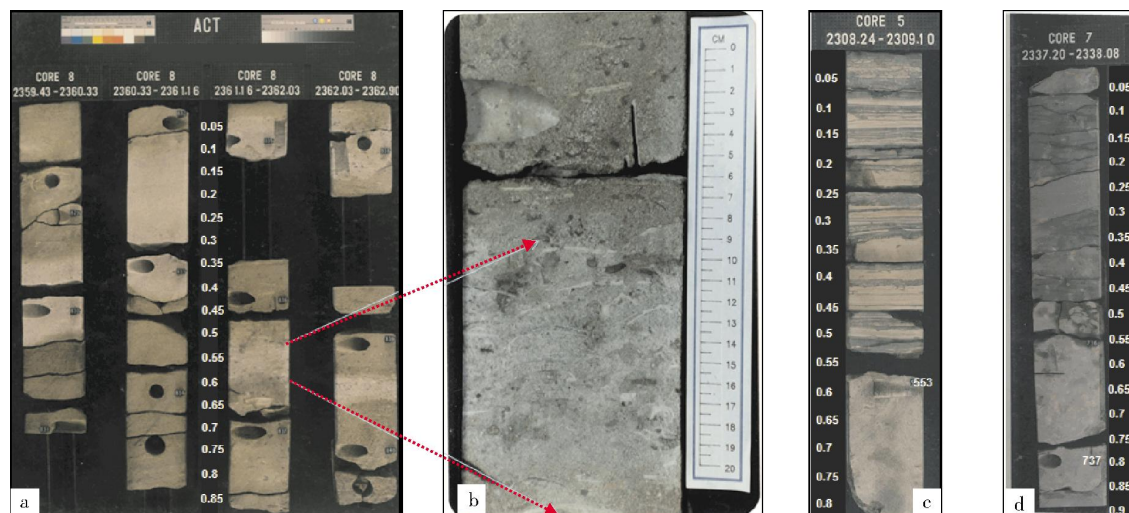
主的地层,在21 Ma之后东沙隆起被淹没,珠江组下部在海侵过程中形成海陆过渡相沉积和碳酸盐岩台地沉积^[18]。本次研究层位是珠江组下部“L系列(levels)”(图1b)(在惠州凹陷的早期勘探实践中,外方作业者将凹陷期沉积的珠江组砂体从上到下划分为J、K、L等“系列”),这些“系列”可对应岩性地层单元中的“段”。其中在珠江组下部的“L系列”主要是一套海侵沉积的砂泥岩,发育稳定,厚度约400 m。早期的勘探开发实践中将“L系列”中的碳酸盐岩认为是成岩成因的胶结物^[19],本次研究认为其中部分是混合沉积成因。

2 惠州凹陷南部混合沉积特征

前人研究认为早—中新世珠江口盆地的古气候条件适合造礁生物生长^[20],东沙古隆起上发育碳酸盐岩台地相,并且钻井也证实了存在碳酸盐岩建隆,而古珠江从西北方向流入工区,发育辫状河三角洲沉积,因此,惠州凹陷南部具备发生混合沉积的背景,珠江组下部L系列的岩心相、测井相和地震相都反映了混合沉积的特征。

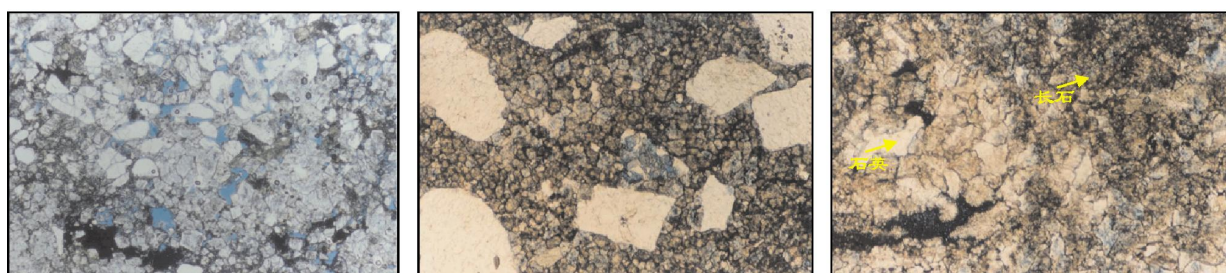
2.1 岩心特征

从岩心特征看,在三角洲前缘水下分流河道砂体的上下,还有砂体中间,广泛发育薄层的碳酸盐岩,如图2a中砂岩内部发育含介壳类化石的灰白色致密夹层,这些化石未被磨圆,指示它们为未经长距离搬运的原地碳酸盐岩沉积(图2b)。依据常规岩心分析,它们的骨架密度多达到2.85 g/cm³,要大于石英密度(2.65 g/cm³),判断是较纯的白云岩。三角洲前缘砂岩孔隙度约在23%左右,水平渗透率一般超过1000×10⁻³ μm²;而碳酸盐岩的原生孔隙度和基质渗透率比较低,导致这些夹层含油性差,但是其成岩作用早,岩石抗压实能力强,仍可以保持一定的原生孔隙,并在后期成岩过程中发生溶蚀和白云石化,能够生成一定的次生孔隙和裂缝(图3a),形成高渗条带。混合沉积的高渗层或者低渗层可显著影响储层的渗流特征。此外,在细粒沉积物中也发育混合沉积;图2c所示井段上部为棕黄色细砂岩与灰黑色泥岩互层,下部为灰色泥晶白云岩,中间没有沉积间断;图2d所示井段下部的灰色泥晶白云岩向上逐渐变为灰黑色泥岩,是水动力较弱环境中的混合沉积现象。



- (a) 粗粒沉积物混合沉积岩心。黄褐色为含油孔隙砂岩,灰白色为混合沉积致密段。井斜深2359.43~2362.90m
 (b) 图2a中混合沉积致密段的局部放大。致密段中有生物壳化石。井斜深2361.51~2361.78m
 (c) 细粒沉积物混合沉积岩心。上部为棕黄色细砂岩与灰黑色泥岩互层,下部为灰色白云岩,白云岩段取了柱塞做薄片分析(对应图3b),井斜深2308.24~2309.10m
 (d) 细粒沉积物混合沉积岩心。上部为灰黑色泥岩,下部为灰色白云岩,渐变接触,白云岩段取了柱塞做薄片分析(对应图3c),井斜深2337.20~2338.03m

图2 珠江口盆地惠州凹陷南部A井(位置见图1a)珠江组底部L系列粗粒沉积物岩心照片



- (a) 白云质中砂岩,可见粒间孔与粒内孔。斜深2387.50m。单偏光, $\times 31$
 (b) 砂质泥晶白云岩,中砂级石英颗粒漂浮于泥晶白云岩中。井斜深2308.84m。薄片取自图2c岩心553位置的柱塞,单偏光, $\times 78$
 (c) 泥晶白云岩,见石英和长石。井斜深2337.98m。薄片取自图2d岩心737位置的柱塞,单偏光, $\times 78$

图3 珠江口盆地惠州凹陷南部A井(位置见图1a)珠江组底部L系列混合沉积薄片特征

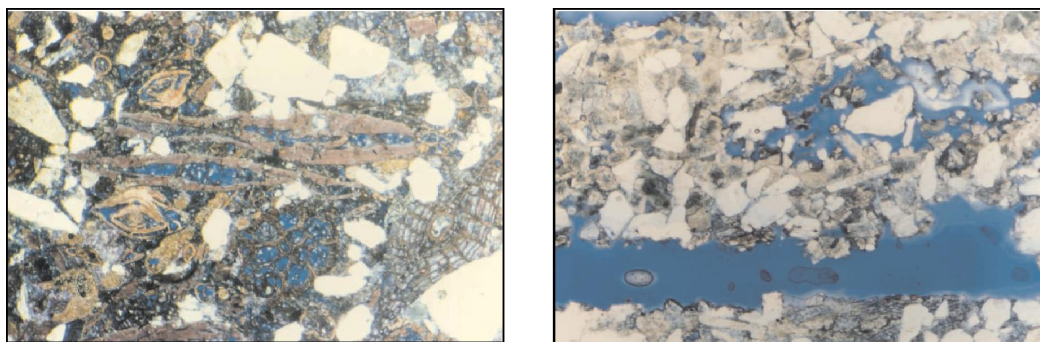
2.2 古生物特征

惠州地区的岩心分析中有大量底栖有孔虫,种类比较单一,绝大多数为圆盾虫(*Cycloclypeus*)和肾鳞虫(*Nephrolepidina*),这些生产者适应三角洲前缘的水体环境,能与粗砂级别的陆源硅质碎屑颗粒同时沉积和保存。部分微体化石内部可以识别出有细砂级别以下的石英颗粒,可能这些砂粒为圆盾虫的食物,这些生物化石未被磨圆,保持原始形态,可以推断它们为原地沉积,是与中—粗粒级的石英颗粒同时沉积的产物(图4a)。古生物碎屑在沉积后的埋藏成岩过程中,

会发生溶蚀作用,可产生次生孔隙(图4b)。

2.3 测井、录井响应特征及岩相相序

三角洲前缘的骨架沉积物主要是砂岩,碳酸盐岩相对于砂岩在钻井时表现为低钻速,一般低于5m/h,尤其是在大角度钻进碳酸盐岩地层时,钻头容易被弹起,电性特征表现为自然伽马小于60 API、电阻率大于 $20 \Omega \cdot m$ 、密度接近 $2.71 g/cm^3$ 、中子孔隙度小于10%,有效孔隙度极低,气测显示为背景值。在开发区内这些碳酸盐岩夹层局部可对比,但是在油田范围内连续性差。



(a) 底栖有孔虫化石与陆源碎屑颗粒共生。E井斜深2499.60m。薄片, $\times 31$

(b) 混合沉积的碳酸盐岩部分溶蚀和白云石化, 产生次生孔隙(保留原生生物碎屑形态)。G井斜深2415.12m。薄片, $\times 31$

图4 珠江口盆地惠州凹陷南部珠江组底部L系列混合沉积古生物特征

以典型井A井为例(图5), 混合沉积在M10层最顶部开始, 即发育珠江组底部的L系列。从M10砂层顶开始沉积薄层的碳酸盐岩之后, 从L60到L30约110m的沉积序列中的三角洲砂体上下都发育薄层碳酸盐岩。沉积岩相序列为泥岩—碳酸盐岩—砂岩—碳酸盐岩循环交替。从下到上, 泥岩—碳酸盐岩—砂岩为正常海退三角洲进积相序列, 反映水体逐渐变浅, 浅水沉积物覆盖在相对深水沉积物上; 砂岩—碳酸盐岩—泥岩为海侵沉积相序列, 其中石灰岩可以缺失, 反映水体逐渐加深, 相对深水沉积物覆盖在浅水沉积物之上(图5)。L系列砂体沉积时对应三级层序的海侵域, 本区不发育不整合面, 依据沃尔索相律^[21], 平面上碳酸盐岩相与砂岩相紧密相邻, 应该是陆源碎屑与碳酸盐的混合沉积环境。

以上是混合沉积在直井或者低角度定向井的测井响应特征和岩相相序。由于水平井的横向延伸距离长, 因此可以利用水平井测井、录井数据来观测混合沉积岩相的横向变化。图6中B井是在L系列完井的一口水平井, B井完钻投产时含水即超过90%, 这与油水分布关系相矛盾。依据B井的录井资料, 本井在钻水平段时有三个漏失段: (1) 斜深3 100~3 110 m井段, 漏失钻井液1.6 m³/h; (2) 斜深3 187~3 222 m井段, 漏失钻井液4.8 m³/h; (3) 斜深3 263~3 350 m井段, 漏失钻井液9.5 m³/h。这三个漏失段都对应储层中的碳酸盐岩夹层段, 研究认为这是由于夹层段碳酸盐岩在成岩过程中发生了溶蚀和白云石化, 从而产生次生孔隙或裂缝, 导致形成的高渗条带沟通了边水, 引起水淹。

2.4 地震响应特征

惠州地区混合沉积地层的地震响应特征明显。由

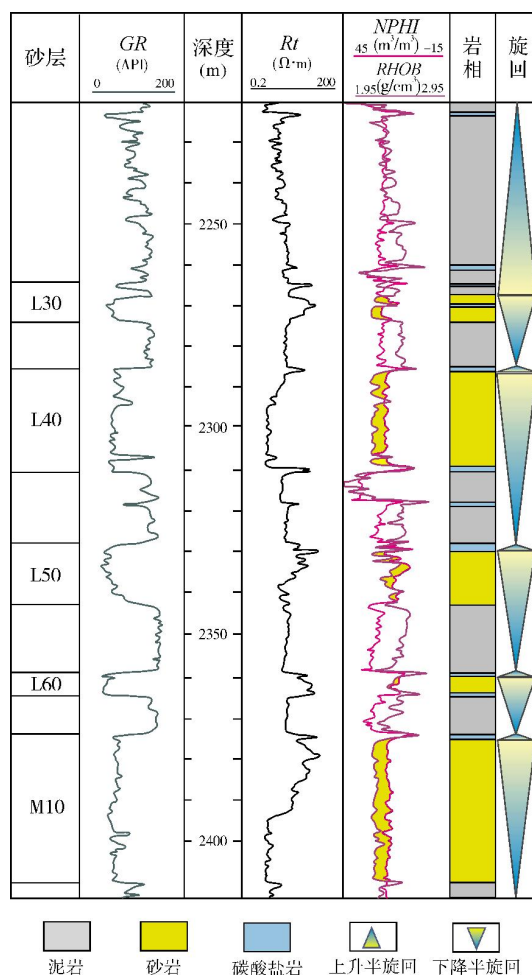


图5 珠江口盆地惠州凹陷南部典型井(A井)原地混合沉积测井响应特征及相层序

于碳酸盐岩和碎屑岩的波阻抗差异大, 如果厚度较大, 在岩性边界的顶、底可出现强反射同相轴。如珠江组沉积时期, 工区西部的古隆起之上发育生物礁沉积(图7),

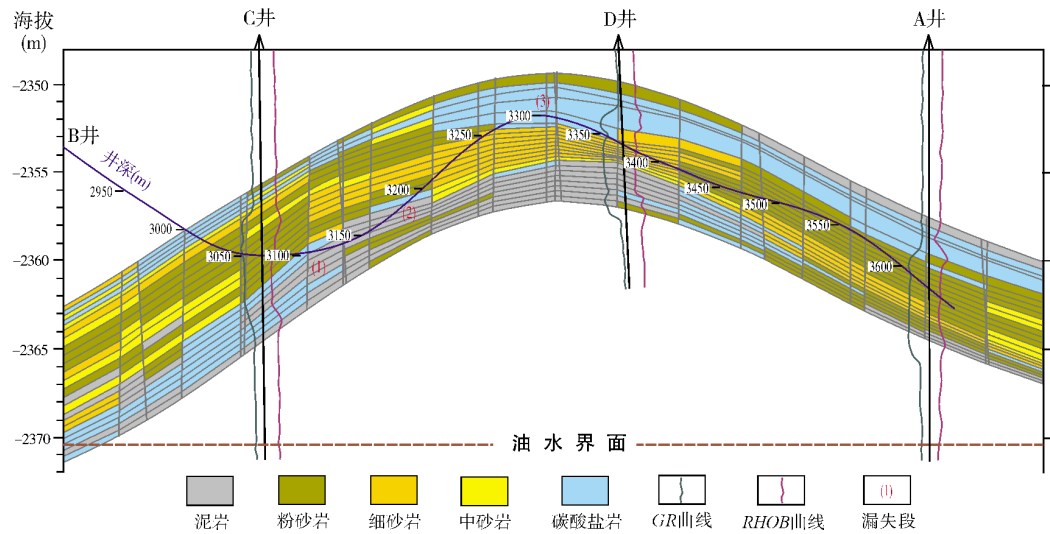


图6 珠江口盆地惠州凹陷南部典型井岩相解释剖面
剖面位置见图1

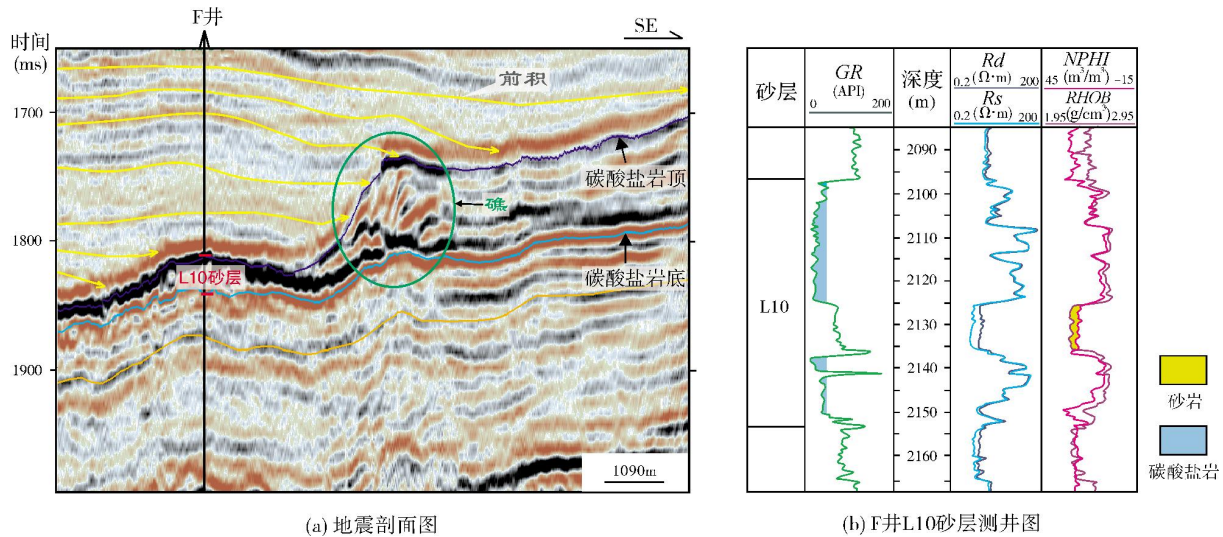


图7 珠江口盆地惠州凹陷南部F井区混合沉积地震剖面
剖面位置见图1

图中部礁体边缘上有明显的西倾前积特征。这是由于古珠江三角洲从西北方向推进到工区,从而在西部发育海陆过渡相三角洲沉积,陆源碎屑岩前积到原生物礁沉积区,使得在碳酸盐岩顶的强反射界面之上出现前积特征,这属于相缘混合沉积。而在L系列之上则没有发现地震可识别的生物礁沉积。

3 混合沉积类型

Mount^[22]将浅海环境下的碳酸盐岩与陆源碎屑岩的混合沉积作用划分为4种:间断混合(punctuated

mixing)、相缘混合(facies mixing)、原地混合(in-situ mixing)、源区混合(source mixing)。按照Mount的分类体系,惠州地区珠江组L系列的混合沉积模式可以分为两类:相缘混合和原地混合。

3.1 相缘混合沉积

相邻的沉积相在空间上有其边界,但是,由于存在过渡环境,其边界特征并不清晰,因为碎屑和碳酸盐沉积物沿各自相边界扩散而发生混合,不同沉积物之间相互交叉、互层。古珠江三角洲从西

北方向推进到工区,在工区东南方向的古隆起上发育碳酸盐岩台地沉积。在三角洲相与碳酸盐岩台地相沿相边界发生混合,引起碳酸盐岩与陆源碎屑岩相互交叉(图8a)。随着三角洲向海方向(从西北向东南方向)的推进,首先是相边缘低能环境

的前三角洲泥与泥晶碳酸盐岩层交叉,形成低能环境下的混合沉积,而后在泥晶碳酸盐岩地层中夹了一层三角洲砂岩,最终三角洲相完全推进到台地,硅质碎屑沉积物完全覆盖了碳酸盐岩台地(图8b)。

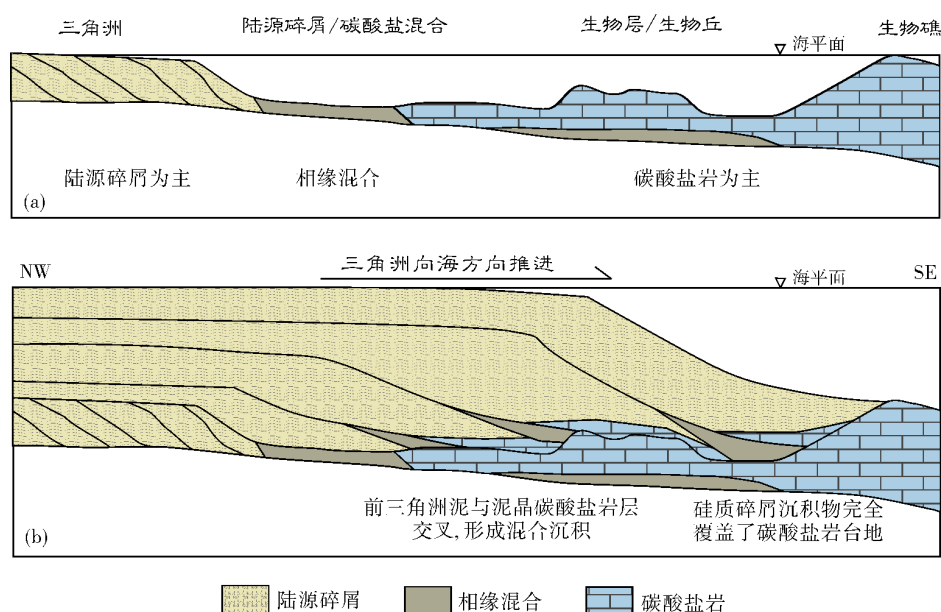


图 8 珠江口盆地惠州凹陷南部相缘混合沉积模式

3.2 原地混合沉积

原地混合沉积是在陆源沉积物中夹杂原地沉积的碳酸盐组分,后者往往是生物的原地死亡堆积。惠州凹陷南部三角洲前缘高能水动力环境下的陆源碎屑沉积物中发育原地生物堆积,中—粗砂岩沉积背景下发育了未磨圆的生物介壳(图2a,2b),在薄片可见有未磨圆有孔虫与中砂级别的石英共生(图4a),也指示了原地的混合沉积特征。另外,在低能环境下也发育原地混合沉积(图2c,2d),泥晶白云岩中发育石英和长石颗粒(图3b,3c)。混合沉积物中的硅质碎屑与碳酸盐成分的比例不一,图3a中硅质碎屑与碳酸盐在成分比例上基本相当。碳酸盐岩夹杂在砂岩油气储层中,对储层的储集性和渗透性有显著影响,一般情况下会降低储层的孔隙度和渗透率,但在有次生孔隙的条件下则会显著地增加储层的渗透性(图4b)。

4 混合沉积的形成条件

由于沉积背景为三角洲前缘的陆源碎屑环境,

古珠江挟带的陆源碎屑物质使海水浑浊,因此减小了透光带的深度,抑制了碳酸盐生产者的生长。透光带是三角洲前缘混合沉积的关键,下文将讨论在此环境中沉积碳酸盐进而产生混合沉积的条件。

4.1 古地形控制混合沉积的发育位置

古地形特征是产生混合沉积的一个条件。在有陆源碎屑注入的浊水环境下,正向的地貌单元更容易接受阳光照射,产生碳酸盐沉积物。在靠近东沙隆起的区域,珠江组沉积早期古地形较高,发育了碳酸盐岩台地沉积,它在与三角洲相的边界附近容易产生混合沉积,越靠近古隆起的位置碳酸盐岩的成分含量越多。对于三角洲前缘的原地混合沉积,造礁生物可以定殖在软泥上,也可以定殖在废弃的水下分流河道和河口坝砂体上,坚硬的基础更适合造礁生物的生长^[4,23]。古地形的高点,如前期废弃的水下分流河道和河口坝,则更容易接受阳光,有利于碳酸盐生产者的生长,即使在三角洲前缘这种有硅质碎屑注入的环境下,也可形成碳酸盐沉积。

4.2 相对海平面的周期性升降可造成混合沉积岩相旋回

受全球海平面升降、构造沉降和沉积物供给共同影响的相对海平面升降,影响了区域的碳酸盐沉积物分布。在海平面上升时期,古珠江三角洲被限制在海岸线附近,在海水覆盖的古隆起上可以发育大范围清水碳酸盐岩。随着海平面下降,古珠江注入的陆源碎屑推进到原来的碳酸盐岩台地,降低了海水纯净度,这样就抑制了碳酸盐岩的沉积。因此,相对海平面的周期性升降是造成“相混合”的一个重要因素。

海平面升降对于“原地混合”的作用比较复杂。中新世珠江组沉积时期是所在三级层序、四级层序的海泛期,相对海平面下降主要是沉积物供给所产生的正常海退,碳酸盐沉积物与三角洲一起向海进积,形成从下到上泥岩—石灰岩—砂岩这种水体向上变浅的沉积序列(图9)。在相对海平面缓慢上升时期,陆源碎屑逐步退积,形成了碳酸盐岩沉积的可容空间,透光带内碳酸盐岩覆盖在浅水砂岩—泥岩之上,当水深大于透光带深度时,碳酸盐沉积终止,前三角洲软泥覆盖在碳酸盐岩之上,形成了砂岩—石灰岩—泥岩这种水体变深的岩相序列。在相对海平面快速上升时期,水深大于透光带,碳酸盐造礁生物无法生长,不能形成三角洲前缘礁,前三角洲泥岩直接覆盖在浅水三角洲前缘砂体之上,形成从下到上砂岩—泥岩的水体加深的岩相序列(图5)。海侵过程中原来的水下分流河道砂体相对周边的软泥更硬,并且也会形成水下的微高地,相对软泥更适合碳酸盐生产者生长,所以在珠江组L系列各砂体的顶部的石灰岩层,比在海退过程中在泥质基础上的石灰岩发育得更广泛和连续。本研究区L系列砂体顶、底的白云岩主要受控于异旋回的影响。

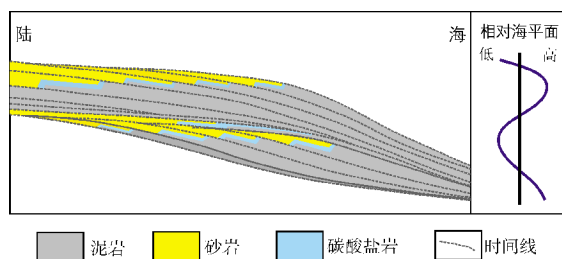


图9 海平面升降对岩相分布的影响示意图

4.3 自旋回是控制混合沉积的一个重要因素

在三角洲沉积环境中,区域上全球海平面的上升,或者构造沉降引起的相对海平面的上升,可提供碳酸盐沉积的可容空间;三角洲朵叶体迁移或者朵叶体内部分流河道的改道,也可以提供碳酸盐沉积的可容空间^[24-25]。

研究区地层发育稳定,高精度的地层对比可以将自旋回从异旋回中分离出来,进而分析自旋回对三角洲前缘地区混合沉积的影响。三角洲区域的自旋回主要是三角洲朵叶体的迁移,或者是更小尺度上分流河道的废弃。三角洲朵叶体的发育位置控制了陆源碎屑物质的注入区域,陆源碎屑注入会引起海水浑浊,进而抑制碳酸盐生产者的生长。而三角洲朵叶体的废弃会致使局部的陆源碎屑注入减少,使海水透光性增强,从而有利于碳酸盐生产者的生长。自旋回与异旋回会共同影响局部的陆源碎屑供给^[26],本研究区L系列砂体内部的钙质夹层主要受控于自旋回的影响。

5 结论

(1)惠州凹陷南部珠江组“L系列”发育混合沉积,其岩石组分类型是陆源碎屑与海相碳酸盐。本工区的混合沉积可划分为两种类型,即相缘混合和原地混合。

(2)在三角洲前缘有持续陆源碎屑注入的高能浊水环境下,能够发育原地碳酸盐岩沉积,这些碳酸盐岩在储层中以条带状出现,它的原生孔隙度低、基质渗透性差,往往在砂岩储层中形成渗流隔夹层,但在后期成岩过程中可发生溶蚀和白云石化,产生次生孔隙,形成高渗条带,影响储层渗流特征;在低能沉积环境下,发育泥晶碳酸盐岩与泥岩、粉砂岩的混合沉积。

(3)受陆源碎屑注入、古地形、海平面升降及三角洲迁移等因素影响的透光带的范围,控制了研究区内混合沉积的分布。在透光带内的海床,分布的岩相有砂岩、泥岩和碳酸盐岩;在透光带之下的海床,主要分布砂岩和泥岩。

参考文献

- [1] Coffey B P, Read J F. Mixed carbonate-siliciclastic sequence stratigraphy of a Paleogene transition zone continental shelf, southeastern USA[J]. *Sedimentary Geology*, 2004, 166(1/2): 21-57.

- [2] Roy K J, Smith S V. Sedimentation and coral reef development in turbid water: Fanning lagoon[J]. *Pacific Science*, 1971, 25(2): 234-248.
- [3] Madden R H C, Wilson M E J. Diagenesis of Neogene delta-front patch reefs: Alteration of coastal, siliciclastic-influenced carbonates from humid equatorial regions[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2012, 82(11): 871-888.
- [4] Wilson M E J. Development of equatorial delta-front patch reefs during the Neogene, Borneo[J]. *Journal of sedimentary research*, 2005, 75(1): 114-133.
- [5] Rogers C S. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation[J]. *Journal of Neurochemistry*, 1990, 62(3): 185-202.
- [6] 魏喜, 祝永军, 尹继红, 等. 南海盆地生物礁形成条件及发育趋势[J]. *特种油气藏*, 2006, 13(1): 10-15, 102.
- [7] Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: Concepts and categories[J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58(1/2): 163-231.
- [8] Lee K, Gani M R, Mcmechan G A, et al. Three-dimensional facies architecture and three-dimensional calcite concretion distributions in a tide-influenced delta front, Wall Creek Member, Frontier Formation, Wyoming[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(2): 191-214.
- [9] 董桂玉, 何幼斌, 陈洪德, 等. 惠民凹陷沙一中湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东商河地区为例[J]. *沉积学报*, 2007, 25(3): 343-350.
- [10] 董艳蕾, 朱筱敏, 滑双君, 等. 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 98-107.
- [11] 罗顺社, 刘魁元, 何幼斌, 等. 渤南洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征与模式[J]. *江汉石油学院学报*, 2004, 26(4): 19-21, 218.
- [12] 孙钰, 钟建华, 袁向春, 等. 国内湖相碳酸盐岩研究的回顾与展望[J]. *特种油气藏*, 2008, 15(5): 1-6.
- [13] 尚凯, 郭娜. 塔里木盆地中央隆起带石炭系小海子组混合沉积研究[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(增刊1): 5-9.
- [14] 杨涛涛, 吕福亮, 王彬, 等. 南海北部深水西区中中新世混合沉积模式及控制因素[J]. *海相油气地质*, 2010, 15(4): 30-34.
- [15] 王国忠. 南海北部大陆架现代礁源碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积作用[J]. *古地理学报*, 2001, 3(2): 47-54.
- [16] 董桂玉, 陈洪德, 李君文, 等. 环渤海湾盆地寒武系混合沉积研究[J]. *地质学报*, 2009, 83(6): 800-811.
- [17] 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.
- [18] 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等. 珠江口盆地惠州地区珠江组控砂机制及地层-岩性圈闭发育模式[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(3): 449-458.
- [19] Gluyas J, Swarbrick R. *Petroleum geoscience*[M]. Singapore: Blackwell Science, 2006.
- [20] 黄海平, 傅恒, 周小康, 等. 珠江口盆地(东部)珠江组碳酸盐岩层序地层及储层分布[J]. *沉积学报*, 2012, 30(2): 291-300.
- [21] 何幼斌, 王文广. *沉积岩与沉积相*[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [22] Mount J F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. *Geology*, 1984, 12(7): 432-435.
- [23] Anthony K R N, Larcombe P. Coral reefs in turbid waters: Sediment-induced stresses in corals and likely mechanisms of adaptation[G]. *Proceedings 9th International Coral Reef Symposium*, 2000: 23-27.
- [24] 黄彦庆. 高分辨率层序地层学中自旋回作用的探讨[J]. *石油天然气学报*, 2006, 28(2): 6-8.
- [25] 纪友亮, 吴胜和, 张锐. 自旋回和异旋回的识别及其在油藏地层对比中的作用[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 36(4): 1-6.

编辑: 黄革萍

Mixed Clastic and Carbonate Deposits of Zhujiang Formation in the Southern Huizhou Depression, Zhujiangkou Basin

Chang Jianbo, Zou Xiaoping, Yu Guoda, Huang Yingshi

Abstract: Mixed clastic and carbonate deposits developed extensively in L levels of Zhujiang Formation in the southern Huizhou Depression, Zhujiangkou Basin. Based on seismic sections, drilling data, and core data, the lithological character, spacial distribution and depositional model are studied. The mixed deposits can be subdivided into two types, namely facies mixing and in-situ mixing. The facies mixing deposits the fine grain mixing of layers of siliciclastic shale and micritic carbonates in the overlapping boundary area between shallow marine delta and carbonate platform in a low-energy environment. The in-situ mixing deposits the sand-size particle mixing of siliciclastic sand and bioclastic limestone in a unique layer of delta front in a high-energy environment. The carbonate layers deposited by in-situ mixing play a complex role in the storage capacity and flow performance of reservoirs in L levels. The facies sequence of shale-carbonate-sand-carbonate-shale is identified in in-situ mixing. The factors such as input of terrigenous clastic deposits, paleo-topography, sea-level fluctuation and delta migration influenced the euphotic zone, and controlled the origin and distribution of clastic-carbonate mixing.

Key words: Mixed deposit; Delta front; Zhujiang Formation; Huizhou Depression; Zhujiangkou Basin

Chang Jianbo; Engineer, CNOOC China Ltd. Add: 3168 Hou Haibin Rd., Nanshan, Shenzhen, Guangdong, 518000, China