

珠江口盆地东沙隆起混合沉积特征及勘探潜力

卫哲, 李小平, 易浩, 曾驿, 周小康, 向巧维

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳, 518064)

摘要: 新近系中新统珠江组下段是珠江口盆地东沙隆起主要的油气勘探层段之一, 且广泛发育混合沉积, 前人主要以陆源碎屑沉积体系开展相关研究。依据录井、岩心和薄片鉴定等资料, 同时结合区域油气地质背景, 对混合沉积特征、成因、主控因素等进行了系统研究, 详细阐述了研究区早中新世的混合沉积格局及成因模式。研究区主要发育混积潮坪相, 混合沉积在微观上表现为陆源碎屑与碳酸盐组分上的混积岩, 宏观上表现为混积岩、陆源碎屑岩和碳酸盐岩互层的混积层序。混积机理与海平面、物源和水动力条件等的频繁变化密切相关, 混积方式以原地混合和相混合为主, 见风暴成因的间断混合。通过混合沉积特征、控制因素、成藏潜力等研究, 为研究区下一步油气勘探提供了支持。

关键词: 混积岩; 混积层序; 混积成因; 沉积模式; 珠江口盆地

中图分类号: TE132 **文献标志码:** A

Mixed sedimentary characteristics and exploration potential of Dongsha Uplift in Pearl River Mouth Basin

WEI Zhe, LI Xiaoping, YI Hao, ZENG Yi, ZHOU Xiaokang, XIANG Qiaowei

(Shenzhen Branch of CNOOC (China) Ltd., Shenzhen 518064, China)

Abstract: The lowest member of the Neogene Miocene Zhujiang Formation is one of the primary oil and gas exploration intervals in the Dongsha Uplift of the Pearl River Mouth Basin. And mixed sediments have been widely formed. Terrigenous clastic sedimentary systems have been the main subject of previous studies. A systematic study was conducted on the mixed sedimentary characteristics, genesis, and main controlling factors based on the data from mud logging, core, and thin section identification, combined with the regional oil and gas geological background. The mixed deposition pattern and genetic model of the early Miocene in the study area were described in detail. In the research area, the mixed tidal flat facies is primarily established. The mixed sediments are represented macroscopically as mixed sequences of interbedded dialites, terrigenous clastics, and carbonates, and microscopically as dialites of terrigenous clasts and carbonate components. frequent changes in sea level, provenance, hydrodynamic conditions, etc. are all closely related to the mixing mechanism. The predominant mixing modes are in-situ mixing and facies mixing, with storm-induced intermittent mixing. Further oil and gas exploration in the region may be supported by studies of mixed sedimentary characteristics, controlling variables, reservoir formation potential, etc.

Key words: mixed rock; mixed sequence; mixed deposit genesis; sedimentary model; Pearl River Mouth Basin

混合沉积(mixed sediments)是Mount在1984年描述陆源碎屑岩与碳酸盐岩混杂沉积时首次提出并应用的概念^[1-2], 随后国内外学者开展了广泛的混合沉积分类、成因等方面的分析研究。国内最早是杨朝青、郭福生等^[3]在1990年提出同一岩层内陆源碎屑组分与碳酸盐组分混合沉积的混积岩概念, 国内学者拓展出混积层序的概念。混合沉积存在广义和狭义两种不同类型的定义, 狭义的混合沉积指陆源碎屑与碳酸盐两种组分在同一时空混杂沉积现象, 目前采用较多的是张雄华将陆源碎屑含量

在5%~95%、碳酸盐含量在5%~95%的岩石都称作混积岩; 广义的是指陆源碎屑岩与碳酸盐岩在垂向上互层的混合沉积层序^[3]。混合沉积研究对于认识区域沉积环境、海平面变化、物源条件、水动力变

收稿日期: 2022-01-14; 改回日期: 2022-06-14。

第一作者简介: 卫哲(1986—), 工程师, 从事沉积、储层、成岩方面研究。E-mail: 517343383@qq.com。

基金项目: 国家科技重大专项“南海东部海域勘探新领域及关键技术”(2016ZX05024-004)。

化、构造运动等具有重要的指导作用,渤海湾盆地秦南凹陷、柴达木盆地北缘等地区通过混合沉积研究均获得较好的油气勘探突破^[4-5]。

珠江口盆地东沙隆起周缘新近系中新统珠江组下段发育典型的混合沉积,分布面积超5 000 km²,其中,既有狭义的混积岩,也有广义的混积层序。本文以地质资料相对丰富的惠西—流花地区为主要研究区,该研究区位于已证实的油气运移路径之上,其油气储层主要是珠江组碳酸盐岩段和混合沉积层段,其中碳酸盐岩段已发现我国迄今为止海上最大的生物礁油田——流花11-1油田,但在混合沉积段面临“见油不见田”的难题。前人对晚期大套碳酸盐岩台地的研究较多,而对早期混合沉积研究较少^[6],且都以碎屑岩沉积体系角度开展,先后提出无障碍滨岸—海滩、三角洲、潮控陆棚等认识^[6-7]。本文综合利用录井、岩心、薄片鉴定等资料,开展混合沉积特征、成因、控制因素、成藏潜力等研究,以期为该地区下一步油气勘探提供支持。

1. 区域地质背景

东沙隆起位于南海北部大陆架南缘,珠江口盆地中央隆起带的东段,呈北东—南西向展布^[8]。研究区北边紧邻两个已证实的富生烃区惠州凹陷和陆丰凹陷,西南部为番禺低隆起和富生烃区白云凹陷,东南部为潮汕坳陷,东沙隆起可进一步划分为陆丰、惠州和流花地区^[8](图1)。

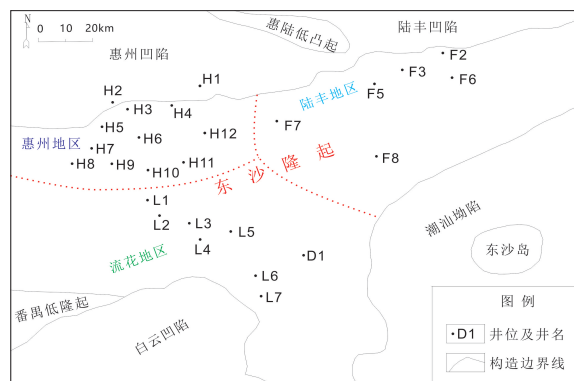
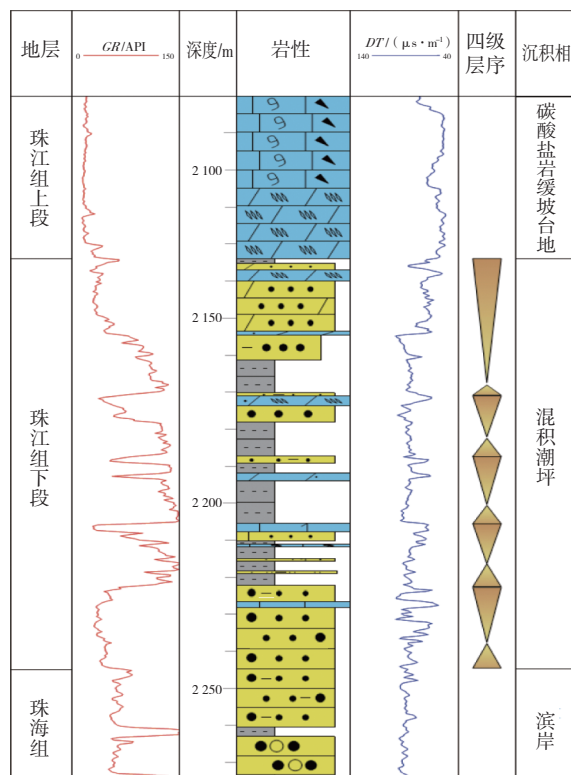


图1 东沙隆起构造纲要及主要钻井分布

东沙隆起为断隆区,呈东高西低的构造背景。虽然在珠江口盆地内一起经历了早期断陷的陆相充填和后期断坳的海相沉积,但大面积缺失古近系沉积,其地理位置和长期隆起对沉积有明显的控制作用,沉积演化相比盆地有其独特之处,突出表现为抬升剥蚀时间较长^[9]。渐新世珠海组沉积大套滨岸相砂岩,中新世早期珠江组下段发育混合沉积,

珠江组上段为碳酸盐台地和陆棚泥岩沉积(图2)。



图例

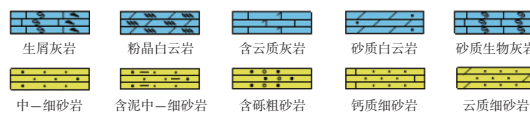


图2 H6井沉积相柱状图

2. 混合沉积特征

综合钻井取心、井壁心、薄片鉴定、录井和测井曲线等资料发现,珠江组下段岩石成分混杂,陆源碎屑组分和碳酸盐组分混合沉积特征明显,表现为藻屑、有孔虫、双壳、棘皮动物等生屑与陆源石英和长石等矿物的混合,各类矿物均有一定量分布,陆源碎屑与碳酸盐岩相互混杂及相互交替(图3)。

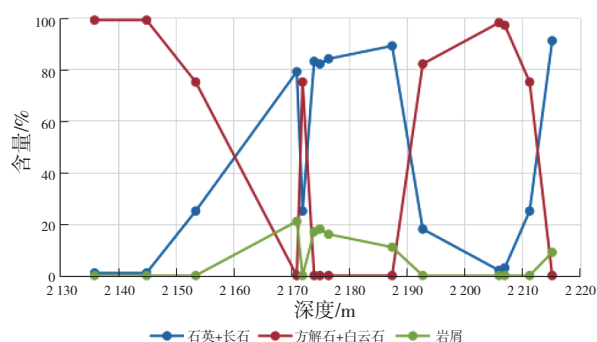


图3 H6井矿物含量分布

2.1 岩石特征

通过区域已钻井资料统计发现:研究区陆源碎

屑岩地层占比最大,混积岩次之,碳酸盐岩最少,陆源碎屑岩、碳酸盐岩和混积岩均可作为油气储层,并与泥岩组成良好的储盖组合。其中,陆源碎屑岩中砂岩占比32.20%,主要为长石石英砂岩、岩屑石英砂岩和长石岩屑砂岩,孔隙类型包括铸模孔、粒间溶孔及长石、岩屑内溶孔,孔隙度分布9.9%~32%,平均孔隙度超过20%,泥岩地层占比38.86%,

厚度从1.3 m到11.4 m,可作为局部盖层;狭义的混积岩地层占比22.53%,岩性以砂质云岩、砂质灰岩和含铁白云岩为主,以粒间孔为主,孔隙度5.8%~31.9%,平均孔隙度17.4%(图4a、b、c);纯碳酸盐岩占比较小,为6.41%,岩性有生屑灰岩、含云灰岩和细粉晶白云岩,发育溶蚀孔洞、晶间孔、晶间溶孔,孔隙度4.3%~20.1%,平均13.7%(图4d)。

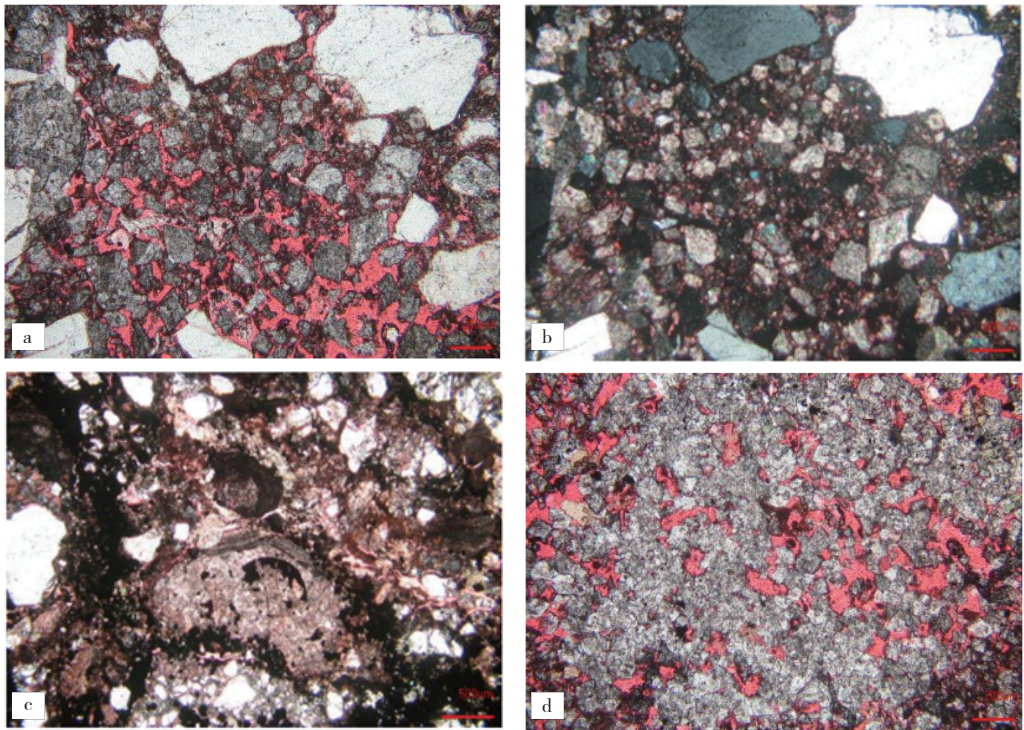


图4 H6井岩石微观特征

a.H6井,2 153.5 m,单偏光,砂质细晶云岩,陆源碎屑与粉、细晶白云石混合,陆屑多为中粗砂,成分以石英为主,少量长石和岩屑,白云石为他形-半自形; b. 视域同a,正交光; c.H6井,2 211.3 m,单偏光,砂质生屑灰岩,陆屑主要成分为石英,少量长石、岩屑和绿泥石等,生屑主要为珊瑚藻,少量苔藓、腕足、棘屑等,生屑和陆屑间充填泥质和少量晶粒状方解石; d.H6井,2 215.20 m,单偏光,细粉晶白云岩,晶间孔发育。

2.2 混积相特征

结合区域沉积背景、已钻井岩性组合及横向变化,珠江口盆地东沙隆起珠江组下段混合沉积岩段为混积潮坪相,根据平均高潮线、平均低潮线及其相对位置可划分为混积潮上带、混积潮间带和混积潮下带。

2.2.1 混积潮上带

混积潮上带位于平均高潮线附近,总体为低能环境,主要发育泥坪微相,以沼泽为主,地势平坦,长期暴露,岩性以浅灰色、深灰色泥岩为主,部分区域沉积薄层细粉晶白云岩,通过薄片观察,其结晶均一,不含生物化石,为准同生白云岩(图4d)。

2.2.2 混积潮间带

混积潮间带位于平均高潮线和平均低潮线之间,主要岩性为灰色泥岩、浅灰色细砂岩、浅灰色混积岩和灰白色灰岩等,岩心可清晰识别出韵律层理、双黏土层、波状层理及透镜状层理等沉积构造(图5),粒度基本以跳跃总体和悬浮总体组成,部分为两段式的跳跃总体(图6),代表来回动荡的潮汐水体,截点为冲刷-回流分界点。

2.2.3 混积潮下带

混积潮下带位于平均低潮线以下,岩性有浅灰色细砂岩、灰质细砂岩、砂质云岩、云质灰岩、中砂岩等,富含孔虫、苔藓、棘皮等底栖生物碎屑。

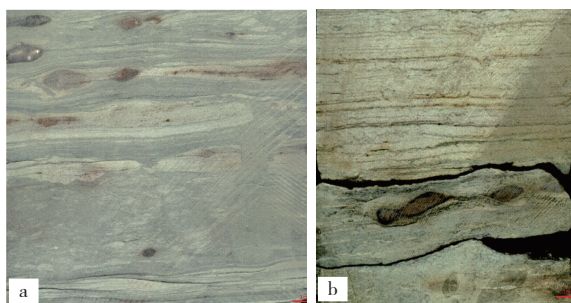


图5 混积潮间带岩心沉积构造

a.H8井, 2 259.70 m, 韵律层理、透镜状层理、波状层理;
b.H8井, 2 262.80 m, 双黏土层

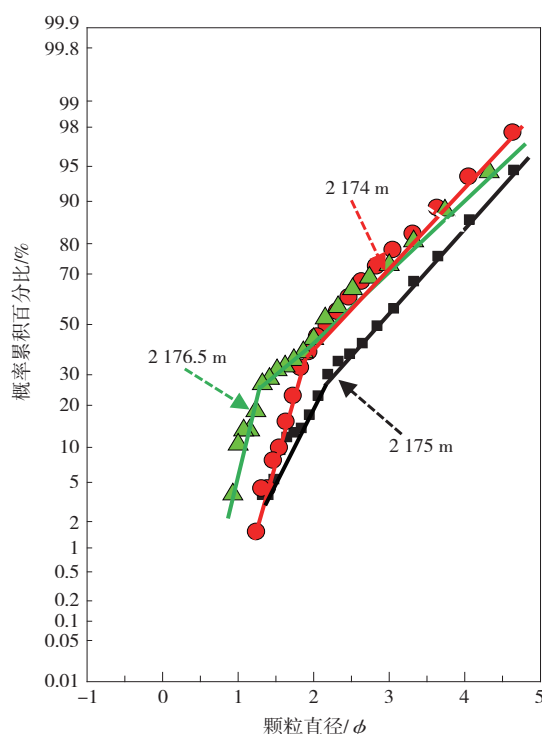


图6 混积潮间带砂岩粒度特征

2.3 混积层序

研究区邻近东沙隆起,地震剖面呈现前积反射,向东沙古陆方向地层沉积厚度逐渐变薄,岩性含砂率由高到低。从H3井到H12井,混积段地层厚度从75.72 m逐渐过渡为37.55 m,含砂率从52.01%过渡为0(图7),潮坪特征明显,发育近岸混积潮坪沉积。

根据岩性组合特征,横向上,由陆向海表现为泥坪、砂坪、最终到混合坪沉积的相变关系(图7)。垂向上,研究区珠江组下段由砂坪—混积坪—砂坪交替往复的5个向上变粗的沉积层序构成,每个层序表现为快速海侵,缓慢海退的沉积过程。混积段地层在垂向上表现为混积层序特征,且混积程度和狭义混积岩占比逐渐增大。早期发育碳酸盐岩—陆源碎屑岩层系;中期为混积岩—陆源碎屑岩层系;晚期为碳酸盐岩—混积岩层系。如H6井,混积层段下部(2 244.6~2 222.2 m)沉积了中—细粒砂岩夹灰岩的碳酸盐岩—陆源碎屑岩层系;中部地层(2 222.2~2 161.3 m)以泥质为背景,灰质砂岩、砂质云岩、云质砂岩等互层或以夹层形成出现的混积岩—陆源碎屑岩层系;上部地层(2 161.3~2 135.2 m)为云质细砂岩夹细粉晶白云岩的碳酸盐岩—混积岩层系(图2)。

2.4 混合沉积模式

早中新世伊始,随着相对海平面的上升与古珠江物源的退缩,东沙隆起发生二次海侵,海水逐渐进入东沙隆起,结合古地貌特征,惠州地区为海湾环境,海侵面积比邻近的流花和陆丰地区大,在北

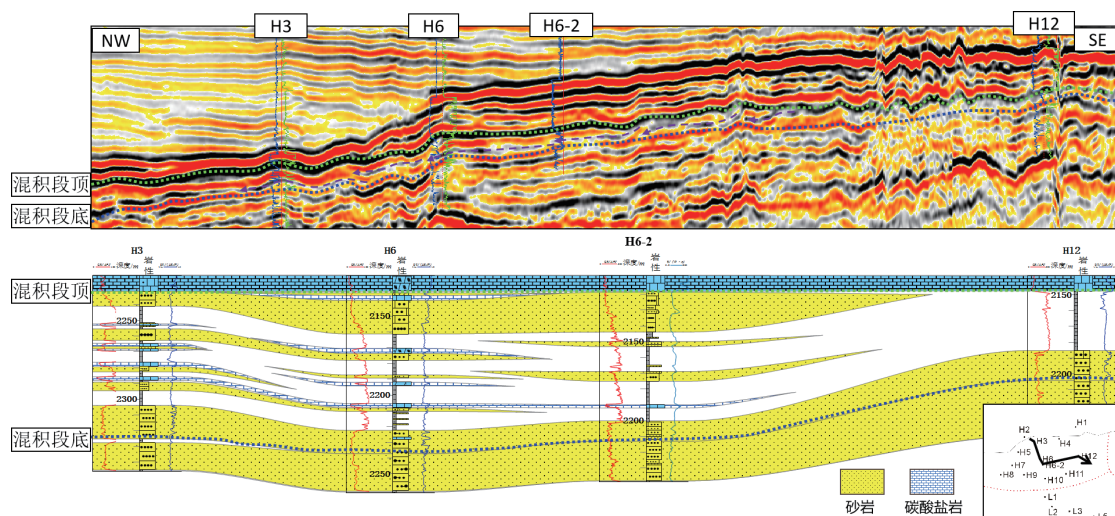


图7 东沙隆起地震剖面及区域连井剖面

东—南西向的潮汐作用下,早期滨岸填平补齐后,发育混积潮坪沉积。

研究区在海平面变化和物源供给的影响下,惠州地区发育清水潮坪和浑水潮坪两种沉积环境,当相对海平面上升,古珠江物源退缩,发育清水潮坪;当相对海平面下降,受古珠江物源影响,发育浑水潮坪,三角洲前缘堆积的砂体受潮汐改造作用增强,砂体呈北东—南西向展布。研究区整体以浑水潮坪为主,沉积大套碎屑岩,间断发育清水潮坪碳

酸盐岩沉积,混积现象便交互形成于这两种环境中(图8)。由于整体的物源供给不足,虽然此时有足够的可容纳空间,但沉积厚度较薄。

经过以上对珠江组下段混合沉积特征分析,建立了东沙隆起珠江组下段混合潮坪沉积模式(图9)。混积现象主要发育于混积潮上带和混积潮间带,受局部古地貌高点和相缘渐变混合沉积影响,在混积潮下带古构造高点和临近混积潮间带区域也见混合沉积发育。

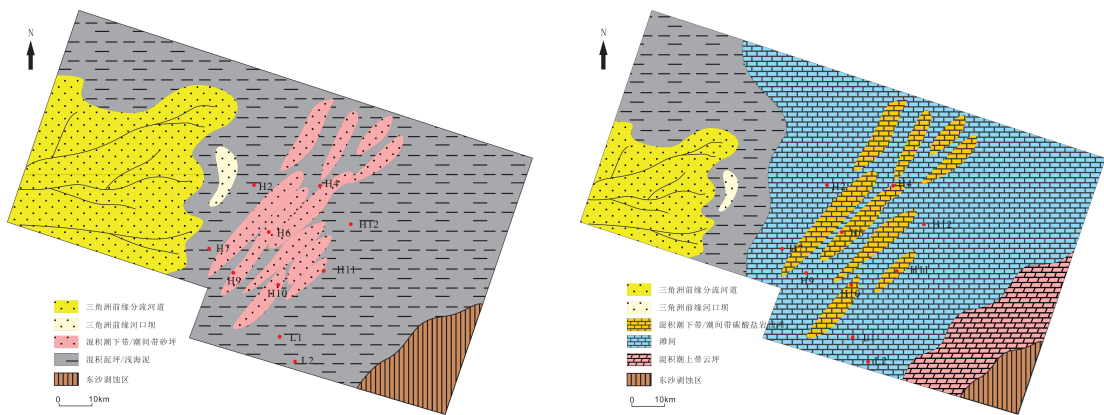


图8 东沙隆起惠州地区浑水潮坪(左)、清水潮坪(右)沉积相展布

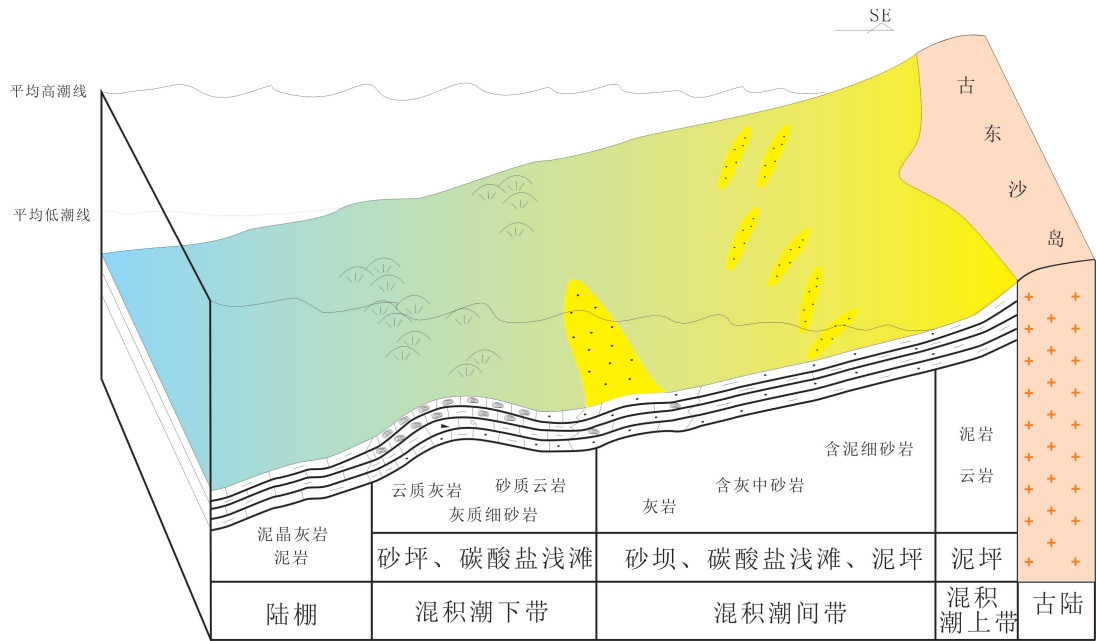


图9 东沙隆起珠江组下段混合潮坪沉积模式

3.混合沉积的成因

关于混合沉积的成因,前人已做了很多研究,

将陆源碎屑和碳酸盐的混合沉积分为间接混合、原地混合、相源混合和蚀源混合四种^[1,10]。张雄华^[3]在前人研究的基础上,结合湖南和江西古生代地层

的有关资料,将混积岩成因归纳为5类:事件突变混合沉积、相缘渐变混合沉积、原地混合沉积、侵蚀再混合沉积和岩溶穿插再混合沉积,其中前两种最为常见。本文通过深入研究东沙隆起惠西一流花过渡区珠江组下段沉积背景、混积岩和混积层序等资料,发现研究区存在原地混合、相混合和间断混合三种混积类型,且以前两种为主。

3.1 原地混合

原地混合指陆源碎屑岩基底之上,与原地或者准原地死亡的钙质生物为主的碳酸盐岩所发生的混合沉积^[3]。研究区钻井垂向上大都表现为砂岩上覆1~2 m碳酸盐岩“钙尖”的原地混合特征(图2)。

3.2 相混合

相混合指在相过渡带发生的不同相的沉积物沿相边界扩散和混合^[3]。研究区内见砂质云岩、灰质砂岩、云质砂岩等,均为砂坪与碳酸盐岩浅滩之间沉积物扩散和混合形成的狭义混积岩(图9)。

3.3 间断混合

间断混合是指突发性事件导致的沉积环境变

化,包含由突发性的风暴、浊流或其他周期性极强的事件,把沉积组分从一个沉积环境搬运到另一个沉积环境中形成的混合沉积^[3]。

H11井在混积层段M3层(1988.8 m~2004.8 m)钻遇一套16 m厚的浅灰—灰色含灰细砂岩,砂体孤立,测井曲线呈箱状,录井岩屑见生物介壳,邻井H6、H10井钻遇的为一套反粒序的混积层序,而距该井3.7 km的H11-2评价井混积段为泥坪沉积(图10),分析认为M3砂体为风暴形成的风暴浪、风暴回流携带有生物介壳背景的滨岸带砂质和碳酸盐岩混合组分近积沉积,为受风暴控制的混积潮间带砂坝;而风暴浪、风暴回流携带的粉砂、泥沉积于风暴浪基面之下的低能远积环境。研究区M3层混积岩受混积潮坪环境下频繁发生的风暴作用改造影响,平面上与东沙古陆海岸呈一定角度斜交,混积岩厚十多米,宽2~3 km,间隔2~6 km,远离东沙古陆向海方向混积岩体受风暴作用改造较弱^[11],潮汐作用增强(图11)。

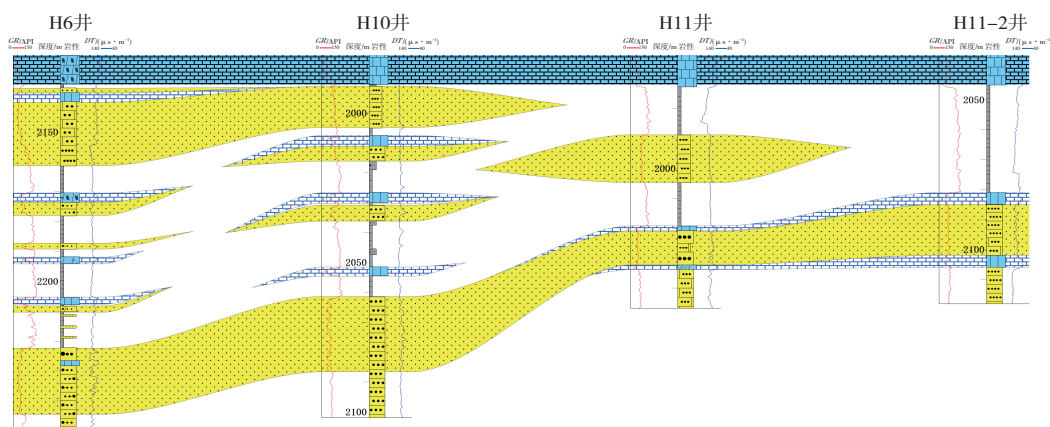


图10 东沙隆起惠州地区连井剖面

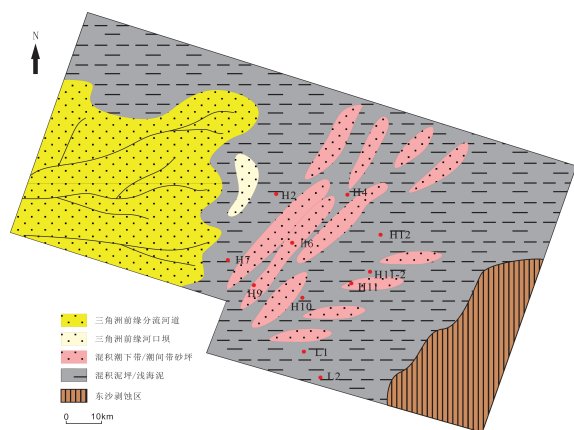


图11 东沙隆起惠州地区M3层沉积相平面展布

4. 混合沉积主要控制因素分析

在前人区域研究的基础上,鉴于珠江组下段混合沉积后发育以生物成因的碳酸盐岩占主导地位的客观现象,分析认为研究区混合沉积的主控因素包括以下几个方面。

(1)相对海平面变化:相对海平面的升降从陆源碎屑物质的供应和生物化学作用碳酸盐岩发育程度两个方面影响着混合沉积的形成及其强度^[12]。东沙隆起在新近纪整体表现为相对海平面上升的趋势,古珠江和东沙物源逐渐后退,研究区逐步以发育细粒碎屑岩和碳酸盐岩沉积为主。珠江组下

段经历多期快速海侵,缓慢海退的短期沉积过程。相对海平面快速上升,沉积的地层较薄,而下降期相对缓慢,沉积的地层较厚,电测曲线呈现粒度逐渐变粗的倒三角形(图2)。另外,海平面的缓慢下降,有利于生物化学成因的碳酸盐岩发育,同时有利于同生期暴露大气淡水溶蚀,建设性改造碳酸盐岩储层。

(2)物源变化:物源对混合沉积有很重要的影响^[12]。研究区西侧发育古珠江三角洲沉积,在远离古珠江物源区,近东沙隆起剥蚀区形成有利于碳酸盐岩沉积的清水环境,珠江组下段底部多发育泥岩夹灰岩的沉积。

(3)水动力条件:海洋水体的动力学特点如波浪、海流、潮流对滨岸及浅海陆棚区的混合沉积影响较大^[12]。研究区潮流作用较强,会破坏并往复搬运各类沉积物,在局部沉积形成混积岩或混积层系;另外,H11井风暴成因砂体,事件性水动力变强会短时破坏生物维持繁衍所需的养分和环境,减少

碳酸盐岩的形成,进而导致局部地区混合沉积的欠发育。

5. 混合沉积对油气地质条件的影响

勘探实践表明,研究区具有很好的岩性圈闭勘探潜力^[13-15]。区域上,东沙隆起惠西—流花地区珠江组下段呈现古珠江三角洲前缘—前三角洲(浅海)—混积潮坪—东沙古陆的带状沉积格局(图12),研究区受潮汐作用改造的砂体呈北东—南西向展布,砂地比小于40%,较高的泥质含量有利于岩性圈闭的侧封和顶封。研究区位于已证实富烃的惠州凹陷到珠江口盆地最大的油田(流花11)的运移路径之上,结合向东南方向逐步变高的单斜构造背景,北东—南西向展布的混积砂坪、碳酸盐岩浅滩、事件性沉积砂坝为具有较好侧封能力的条带型岩性圈闭勘探有利相带。如H10井M2层钻遇2.6 m云质灰岩和7.6 m厚细砂岩油层,证实为透镜状岩性油藏(图13)。

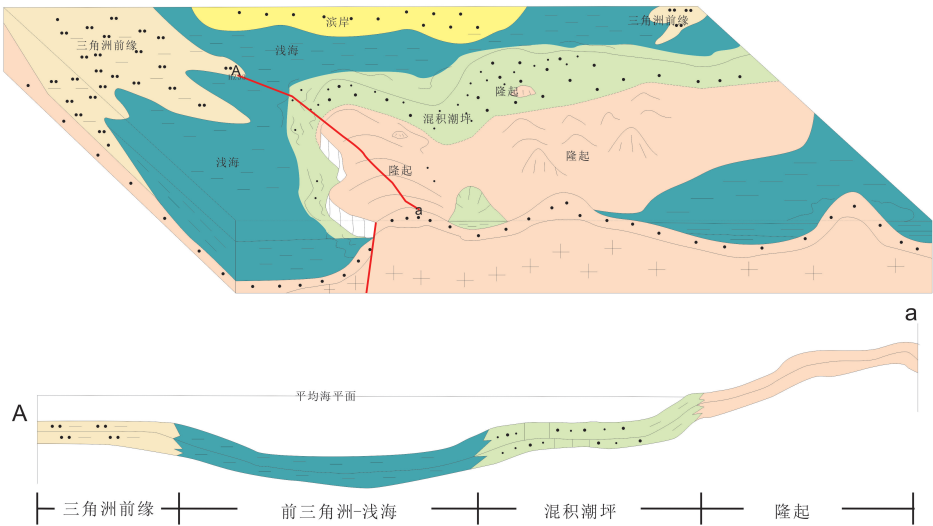


图12 珠江口盆地珠江组下段区域沉积模式

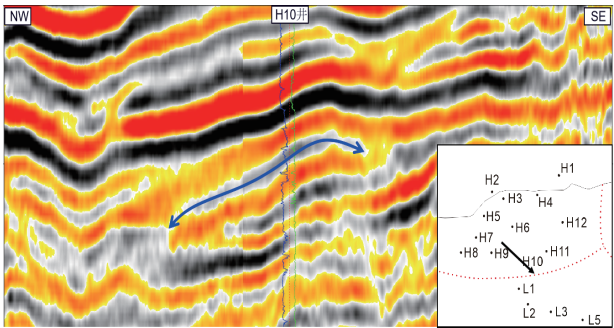


图13 H10井M2透镜状岩性油藏地震剖面

6. 结论

(1)珠江口盆地东沙隆起珠江组下段发育典型的混合潮坪沉积,混合程度自下而上逐步增强,混积方式有原地混合、相混合和间断混合三种类型,其中以前两种为主。

(2)东沙隆起珠江组混合沉积受海平面变化、物源变化和水动力条件等共同影响,海平面变化是 (下转第62页)

- [12] 李俞锋,蒲仁海,贾学成,等.全局性地震切片的拾取及其应用[J].地质科技情报,2018,37(1):212-217.
- [13] 丁梁波,邵大力,王海强,等.基于全局最优化的地震自动解释技术及其在缅甸若开海域深水区勘探中的应用[J].地球物理进展,2018,33(5):2102-2107.
- [14] 赵天琦,丛琳,娄娜,等.地层切片结合相干技术在砂体刻画中的应用[J].中州煤炭,2016,50(8):154-157.
- [15] 陈文浩,王志章,侯加根,等.地层切片技术在沉积相研究中的应用探讨[J].石油地球物理勘探,2015,50(5):1007-1015.
- [16] 钱荣钧.对地震切片解释中一些问题的分析[J].石油地球物理勘探,2007,42(4):482-487.
- [17] 宋青,刘震,潘中华,等.垦东北部馆陶组上段河道砂体储层描述方法[J].复杂油气藏,2020,13(1):22-27.
- [18] 徐伟慕,郭平,胡天跃.薄互层调谐与分辨率分析[J].石油地球物理勘探,2013,48(5):750-757.
- [19] 金振奎,时晓章,何苗.单河道砂体的识别方法[J].新疆石油地质,2010,31(6):572-575.

(编辑 刘义梅)

(上接第43页)

混合沉积的关键因素。

(3)结合研究区成藏认识和向南东方向逐步变高的单斜构造背景,明确混积砂坪、碳酸盐岩浅滩为有利沉积相带,具有透镜状岩性圈闭勘探潜力。

参考文献

- [1] MOUNT J. Mixed siliciclastic and carbonate sediments a proposed first-order textural and compositional classification [J]. Sedimentology, 1985, 32(3): 435-442.
- [2] 郑亚斌,杜秀娟,边学会.混积岩的几点思考[J].中国科技信息,2015(18):20-21.
- [3] 张雄华.混积岩的分类和成因[J].地质科技情报,2000,19(4):31-34.
- [4] 夏庆龙.渤海油田近10年地质认识创新与油气勘探发现[J].中国海上油气,2016,28(3):1-9.
- [5] 魏小洁,马寅生,李宗星,等.柴达木盆地北缘上石炭统碎屑岩——碳酸盐岩高频转换过程及驱动机制[J].古地理学报,2018,20(3):409-422.
- [6] 马正武,傅恒,黄诚,等.珠江口盆地新近系珠江组碎屑岩沉积相研究[J].天然气技术与经济,2012,6(6):23-26.
- [7] 李小平,施和生,杜家元.珠海组—珠江组时期东沙隆起物源提供能力探讨[J].沉积学报,2014,32(4):654-662.
- [8] 刘军,施和生,杜家元,等.东沙隆起台地生物礁、滩油藏成藏条件及勘探思路探讨[J].热带海洋学报,2007,26(1):22-27.
- [9] 梁卫,周小康,卫哲,等.珠江口盆地东沙隆起珠江组碳酸盐岩储层特征及主控因素[J].成都理工大学学报(自然科学版),2015,42(2):169-179.
- [10] 梁薇,牟传龙,周恩恩,等.湖南寒武系第三统混积岩沉积特征与成因探讨[J].地质论评,2016,62(4):881-896.
- [11] 高志勇,朱如凯,郭宏莉.海侵背景下风暴控制的滨岸—陆棚砂体研究——以塔中志留系下沥青砂岩段为例[J].沉积学报,2006,24(4):468-475.
- [12] 江茂生,沙庆安.碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积体系研究进展[J].地球科学进展,1995,10(6):551-554.
- [13] 丁琳,杜家元,张向涛,等.珠江口盆地岩性油气藏类型及形成条件——以惠西南地区中新统珠江组为例[J].海相油气地质,2017,22(2):67-72.
- [14] 杜家元,施和生,丁琳,等.珠江口盆地(东部)地层岩性油气藏勘探有利区域分析[J].中国海上油气,2014,26(3):30-36,55.
- [15] 梁卫,李小平.珠江口盆地东部碎屑岩—碳酸盐混合沉积区岩性油气藏形成地质条件与潜力[J].地球科学,2020,45(10):3870-3884.

(编辑 刘义梅)