

珠江口盆地西部文昌G区渐新统恩平组 扇三角洲沉积特征与储层主控因素

李珊珊, 彭松, 陈林, 李伟, 刘小燕, 江汝锋

中海石油(中国)有限公司湛江分公司

摘要 针对珠江口盆地西部文昌G区下渐新统恩平组多物源、多期次扇三角洲沉积纵向频繁叠置、横向非均质性强的特点,从构造-沉积充填演化特征入手,分析了断裂体系对每期扇三角洲的影响,并与沉积序列的复杂性相结合,分析了垂向相序变化和平面储层展布规律。纵向上,恩平组共划分为上、下2个三级层序,5个准层序组;平面上,上层序沉积早期发育的一系列NEE向断裂体系组成自南向北发育的一组断阶,这在一定程度上改变了当时的构造-沉积格局,从而影响了低位期三角洲的展布,使其分布范围最广。沉积机制和水动力条件是影响储层平面差异性的的重要因素:首先,沉积相带是影响储层物性的先决条件,扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体较扇根部位砂体的储层物性明显变好,且多以原生粒间孔隙为主,次生孔隙为辅;其次,上层序湖侵期广泛发育的厚层泥岩形成相对超压,对深埋藏储层的孔隙具有一定的保护作用。厚层泥岩盖层之下的、受断阶影响的大型低位扇三角洲,为本区“甜点”储层的有利勘探方向。

关键词 扇三角洲; 构造-沉积演化; 储层成因; 渐新世; 文昌凹陷; 珠江口盆地

中图分类号: TE122.2 **文献标识码**: A

1 概况

珠江口盆地位于南海北部大陆架东部近海海域,是南海北部大陆边缘油气勘探的主战场之一^[1],其西部以珠三坳陷为主体(图1)。受晚渐新世以来构造反转隆升的影响,珠三坳陷具有西高东低的特点,东部的文昌A凹陷因埋深较大,导致其勘探程度较西部的文昌B凹陷略低。随着油气勘探程度的日益增加,文昌B凹陷的重点攻关层系已由中浅层的中新统珠江组逐步转向具有近源成藏优势的中深层,包括渐新统恩平组等层系。

文昌G区位于文昌A、B凹陷的结合部,包括了文昌14洼和文昌9洼的中南部(图1)。多年来受地震资料品质差和低渗储层的影响,虽然油气显示十分活跃^[2],但文昌G区恩平组勘探步伐却极为缓慢。缓坡带A3井埋藏较浅,恩平组砂岩发育,储层物性较好。陡坡带的A1井和A2井恩平组岩相组合与物性分布截然不同:A1井恩平组埋深约3 200~4 500 m,恩平组一、二段呈现厚层砂岩、砂砾岩频繁无序叠置的特

点,尤其是恩平组二段,层间非均质性极强,测井解释多为干层,孔隙度分布在5%~11%之间;A2井埋深更大,在3 500 m以下,恩平组二段同样以砂砾岩夹薄层泥岩为主,但其储层物性明显偏好,测井解释多为有效储层,孔隙度主要集中在10%~15%之间,渗透率为 $(0.6\sim12)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。较强的储层非均质性使得恩平组勘探方向不明,油气勘探一直未获得突破。

近年来,前人针对文昌A凹陷沉积体系及成藏条件的研究认为^[3-5],恩平组沉积时期随着湖盆开始逐渐萎缩,大面积发育滨浅湖和河流沼泽沉积,沉积的这套地层为珠江口盆地良好的烃源岩层,已达到成熟—高成熟阶段,是盆地内已发现的规模凝析油、凝析气藏的烃源基础。研究区目前多数成果集中在恩平组烃源条件和上覆珠海组低渗储层的研究方面^[6-7],由于揭示恩平组的钻井资料较少,因此对深层的研究并不深入,尤其是文昌14洼陡坡带恩平组的储层沉积特征及储层成因机制研究仍然是空白。随着对构造-沉积充填演化及储层差异性研究的不断深入,以及针对中深层采集的高密度地震资料的出站,

收稿日期: 2017-11-16; 改回日期: 2018-11-19

本文受国家科技重大专项下课题“南海西部海域低渗油藏勘探开发关键技术”(编号:2016ZX05024-006)资助

第一作者: 李珊珊,高级工程师,2009年毕业于中国地质大学(武汉),获硕士学位,现主要从事沉积学和石油勘探研究工作。通信地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油一区档案楼中海石油(中国)有限公司湛江分公司研究院; E-mail: lishsh5@cnoc.com.cn

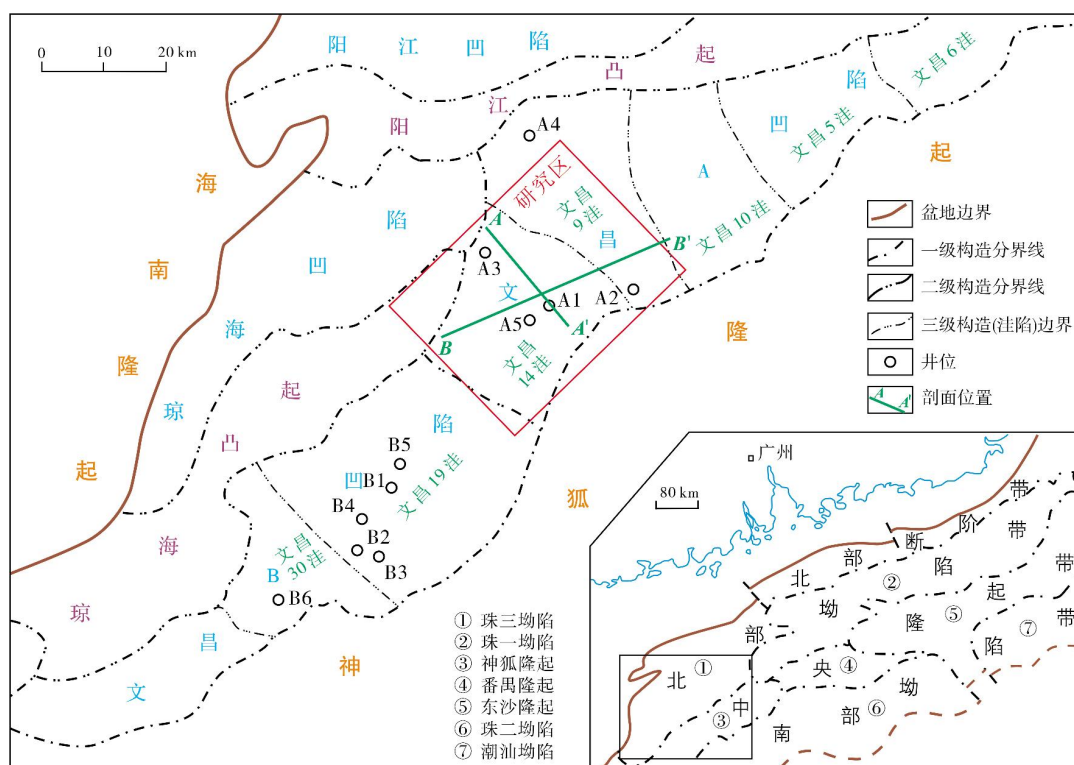


图1 珠江口盆地西部构造区划及研究区位置

恩平组复杂储层的沉积特征逐渐清晰。笔者在对新资料重新解读的基础上,引入高分辨率层序地层学观点,通过对文昌G区构造-沉积充填演化特征的再认识,开展了沉积体和储层主控因素的精细识别和多元化分析。研究成果为复杂储层的预测奠定了基础,明确了文昌G区中深层恩平组勘探的重点方向。

2 构造-沉积充填演化特征

以往中深层地震成像较差,造成对构造-沉积充填演化的认识较为模糊。笔者依托近年新采集处理的高密度地震资料,在井震标定的基础上(A1井)开展精细解释,发现文昌G区断裂十分发育(图2a),主要发育3期3向断裂体系:第1期NE向断裂(图2b),主要于文昌组沉积时期发育(图2c),恩平组二段沉积时期微弱活动,其走向平行于珠三南断裂,起到了控制凹陷结构的作用(图2a);第2期NEE向断裂(图2b),主要于恩平组一段沉积早期活动(图2c),组成逐级向北下倾的一系列断阶,控制了当时的沉积格局;第3期断裂在珠海组沉积末期活动,在研究区北部呈近EW向,南部则呈NE向,断距相对较小,为本区的控圈闭断裂,也是恩平组、珠海组油气充注的有

利输导体系。整体来看,注中断裂活动时间均较早,呈现出多期切割的复杂特征。其中,本文首次识别出的第2期NEE向断裂,在珠三南断裂及文昌14洼周缘分布十分广泛,这既造成了恩平组自下而上沉降中心的迁移,又在一定程度上影响了本区沉积体系的展布样式,对晚渐新世构造-沉积充填序列起到了重要控制作用。

进一步由构造发育史来重新审视本区充填演化过程可知,文昌G区在始新世末—早渐新世为典型的箕状断陷湖盆,沉积中心明显受控于珠三南断裂^[8-9]。随着珠三南断裂活动性减弱,凹陷逐渐填平补齐,至早渐新世晚期恩平组一段沉积时期,地势已相对宽缓,该时期一系列NEE向断裂开始剧烈活动(图2c),构造格局发生了重大变化,形成了自珠三南断裂陡坡带向洼中大规模发育的一系列断阶(图2a)。逐级北掉的控沉积断裂发育,使该时期沉降中心有向北移动的迹象,恩平组一段(T71—T70)平缓过渡的地层厚度与恩平组二段(T80—T71)自南向北快速减薄的特征形成强烈反差(图2a)。

恩平组沉积时期,盆地西部在浅湖沉积背景上存在两大物源体系(图3):一是来自珠三南断裂上升

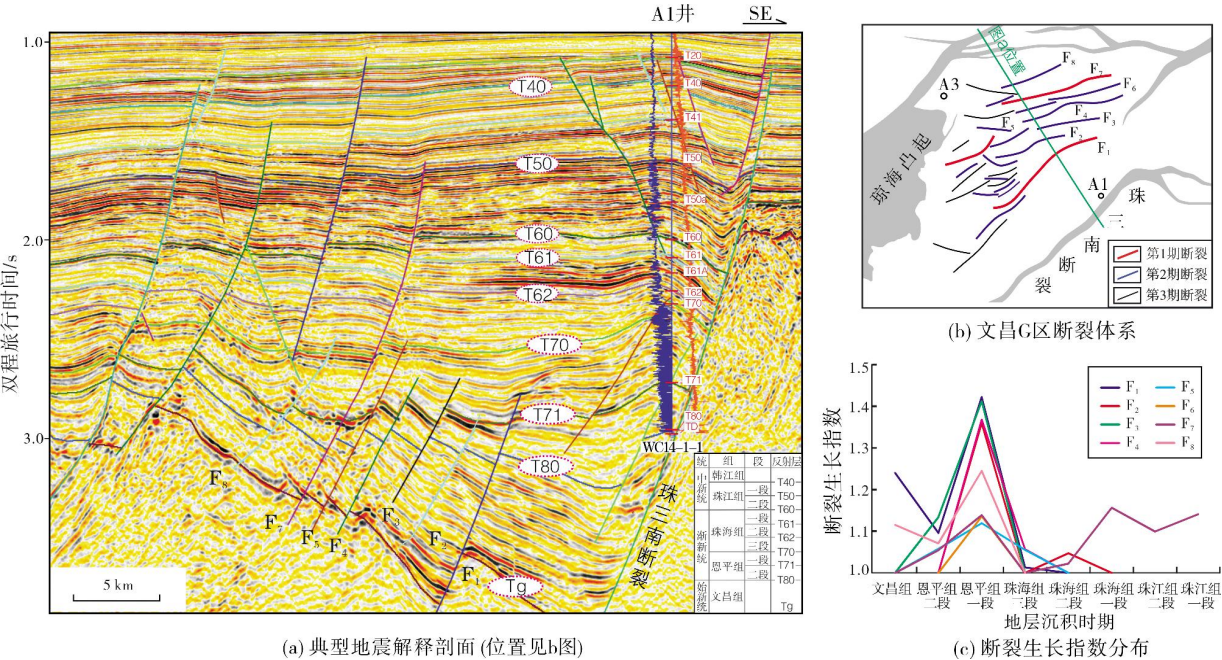


图2 珠江口盆地文昌G区断裂体系及构造发育史

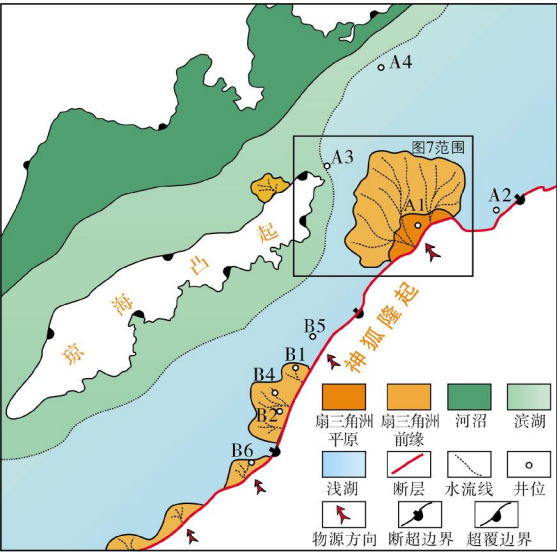


图3 珠江口盆地西部恩平组一段沉积体系

盘神狐隆起的陡坡带,二是来自琼海凸起的缓坡带。尤其是神狐隆起受到珠三南断裂活动的影响,地表高差增大,连绵起伏的山地为研究区提供了充足的物源。邻近南部断裂带的A1井、A2井都揭示了恩平组中一粗砂岩、含砾砂岩的岩相组合,且砂体含砂率高、单层厚度大,内部泥岩夹层薄且不发育,砂岩以岩屑石英砂岩和岩屑砂岩为主,成分成熟度和结构成熟度

均相对较低,具有近源扇三角洲沉积特征。

3 扇三角洲沉积精细研究

3.1 层序划分

高精度层序地层格架的建立是明确沉积机制、认清沉积序列的核心^[10-11]。文昌G区恩平组的勘探程度低,以往仅认识到自恩平组二段到一段是湖平面上升的过程^[12]。通过对古生物组合,尤其是藻类化石等的定量化分布特点的剖析可知(图4),恩平组一段、二段内部均存在水进、水退的湖平面变化。恩平组二段的藻类含量呈现先上升后下降的过程,同时,浮游藻类(藻类的主体,见图4)和孢粉含量也具有相似的变化特点,这一特征指示了恩平组二段应经历了先湖侵再湖退的过程。并且由孢粉和藻类发育的程度和含量来看,恩平组二段末期应该是经历了一次有一定规模的湖退,即恩平组一段存在低水位的时期,而非以往认识的无间断的逐渐湖侵的过程。

进一步,结合对地震反射上超点的精细识别(图5)以及构造-沉积格局的再认识,推测恩平组二段沉积末期的规模性湖退应与该时期在陡坡带、洼陷中发育的一系列断裂的强烈活动有关。恩平组二段

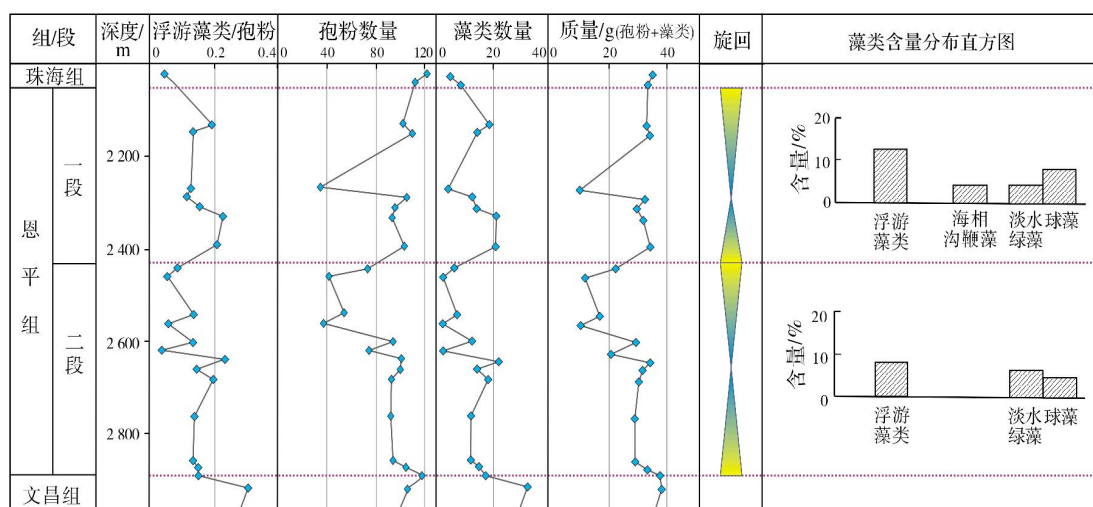


图4 珠江口盆地文昌B凹陷B4井恩平组生物化石纵向变化及藻类含量特征

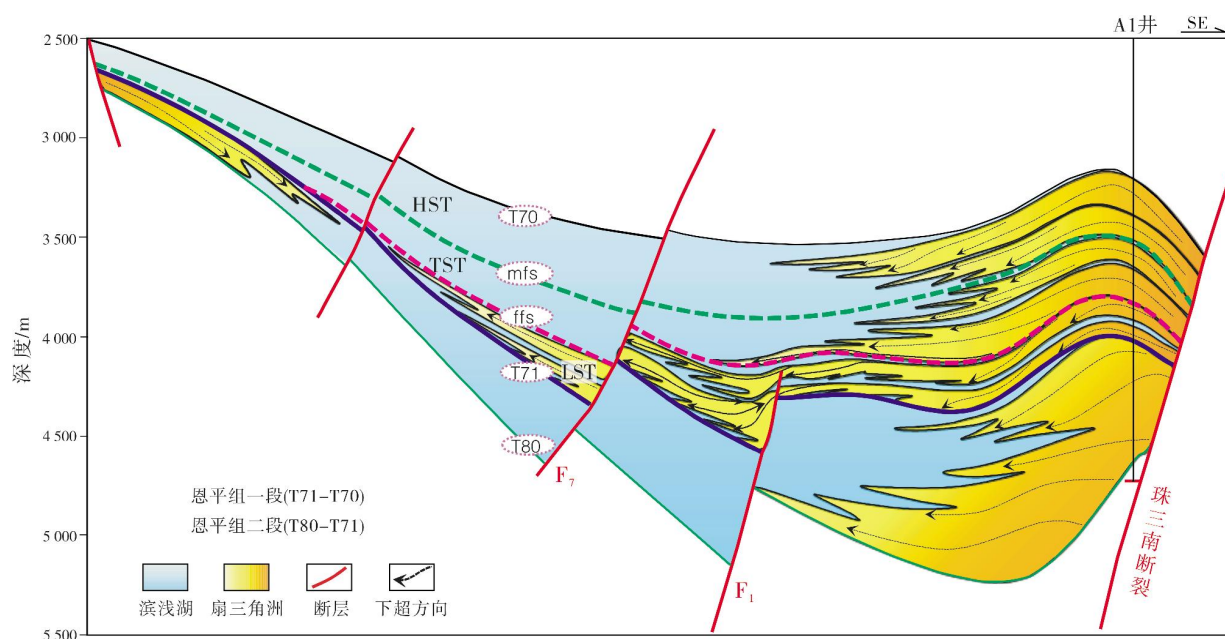


图5 珠江口盆地文昌G区恩平组多期扇三角洲沉积模式图

沉积末期至恩平组一段沉积早期,一系列 NEE 向断裂的强烈活动造成了本区较大的地势差异,使得沉降中心向北迁移(图5),洼陷中可容纳空间明显增加;而断裂下降盘靠近珠三南断裂带的部位,在断阶影响下则由恩平组二段时的深洼区逐渐演变为斜坡区乃至剥蚀区,可容纳空间变小,从而间接导致了恩平组二段的湖退加剧。

在构造-沉积格局再认识和古生物定量变化的基础上,对前人的层序划分方案^[13-14]作了细

化和修订,把恩平组划分为上、下2个三级层序,5个准层序组;下层序(恩平组二段)可划分为湖侵体系域和高位体系域,上层序(恩平组一段)可划分为低位体系域、湖侵体系域和高位体系域(图5)。其中,恩平组一段沉积早期一系列阶梯式断裂对文昌G区沉积变迁影响重大:在断裂活动的早期,随着湖平面的下降,岸线向洼陷中迁移,沉积体亦由盆缘向盆中推进较远。这很好地解释了恩平组一段低位域存在的原因。

3.2 地震相分析

本次研究新识别的低位扇三角洲整体呈现低频、中—强振幅特征(图6);在平行物源方向上,表现为沿断阶的下倾区逐级加厚,直至控沉积断裂不发育、可容空间减小而尖灭(图6a);在垂直物源方向上,表现为向两端平缓减薄的透镜体特征(图

6b),内部隐约可见若干下超点和扇三角洲水下分流河道冲刷侵蚀的现象。紧邻珠三南断裂和隆起区,以杂乱地震反射特征为主(图6a),前端则演变为具有一定连续性和下超特征的地震相,推测为近物源扇三角洲在扇根处具有的混杂堆积的表现,与经过一定搬运距离而分选相对较好的前缘亚相有所区分^[15]。

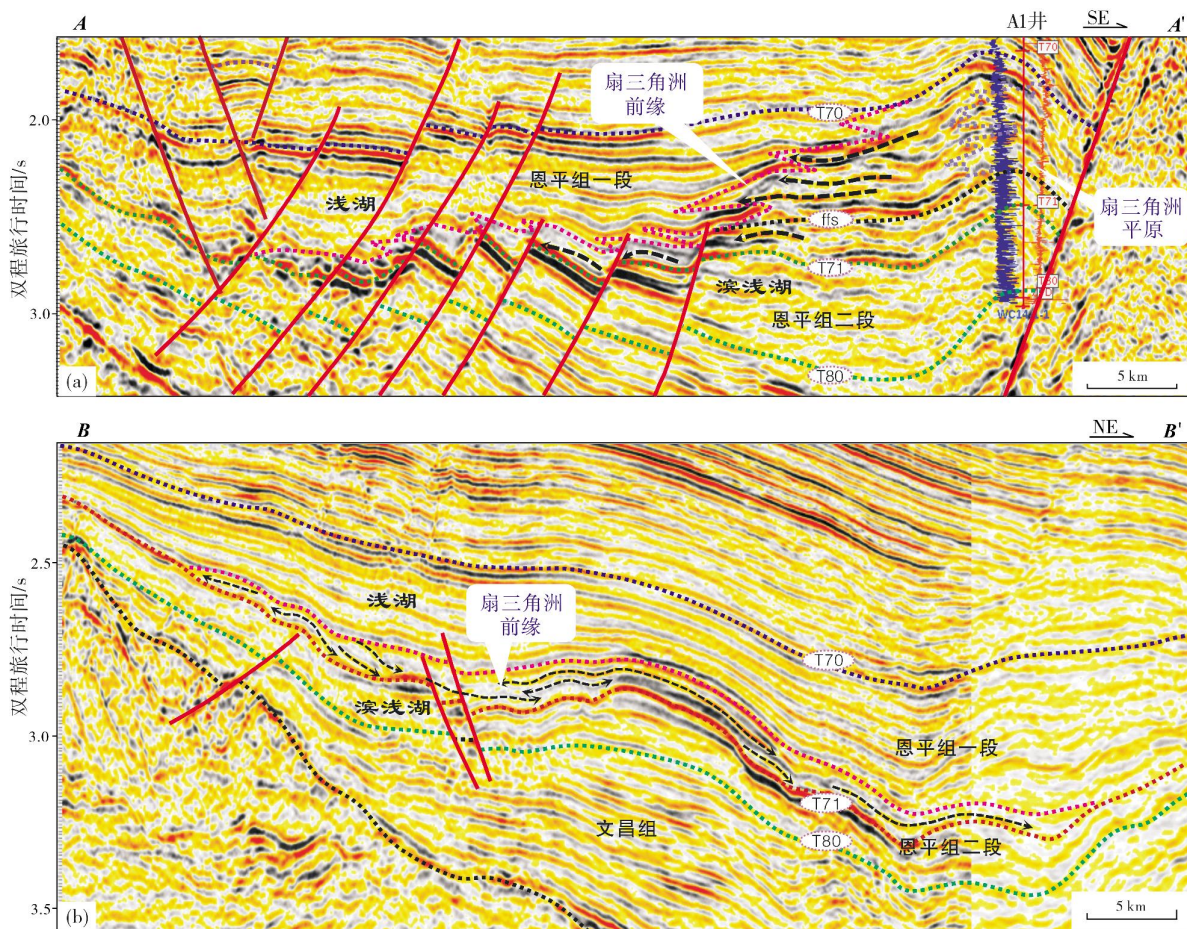


图6 珠江口盆地文昌G区恩平组扇三角洲地震相特征

剖面位置参见图1

通过地震相分析,发现陡坡带扇三角洲多表现为低频、中—强振幅、断续的地震反射特征,内部可见若干下超点,与洼中浅湖泥岩呈现的平行、连续、弱—中振幅的地震反射特征不同。进一步在层序地层格架之下开展精细识别发现,扇三角洲随湖平面变化和物源注入口的迁移,呈现多期次、多角度叠加的特征(图7)。尤其是在重新解释的断裂体系和构造格局认识的基础上,沉积的纵横向变化显得更为复杂:早期受到珠三南断裂的控制,恩平组二段扇三角

洲主要集中在陡坡带,推进距离相对较近;随着恩平组二段沉积末期—恩平组一段沉积早期一系列NEE向断阶的形成,以及神狐隆起物源注入再度加强,使得低位域三角洲推进距离非常大,延伸至多半个洼陷;之后随着断阶活动停止,珠三南断裂又间歇性活动,扇三角洲逐级后退,演变成以近珠三南断裂处为沉积中心,向北逐渐减薄的楔状体形态(图5)。总体上,恩平组自下而上,扇三角洲具有先进积后退积,沉积范围先增大再逐渐缩小的特点。

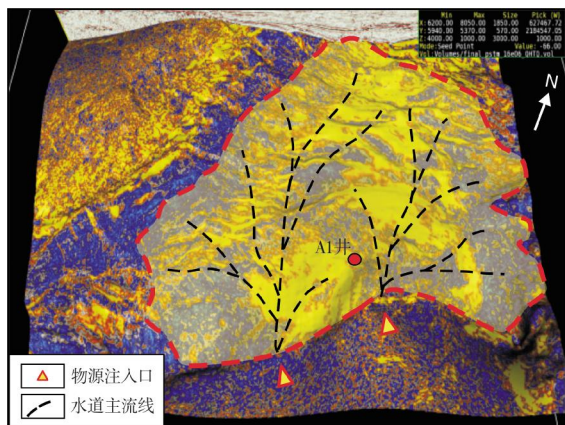


图7 珠江口盆地西部文昌G区东缘恩平组一段
低位域均方根振幅属性切片
数据范围见图3

3.3 岩心相差异性表征

文昌G区中深层勘探程度低、钻井数量少,因此,开展层序约束下的沉积序列分析,对明确储集体展布机制和范围、预测优质储层勘探方向是十分必要的^[16]。

通过A1井岩心分析(图8),发现扇三角洲纵向上呈现多期正韵律的叠加:旋回底部可见冲刷面,多以含砾石英岩屑砂岩和砂砾岩为主,向上逐渐过渡为中—粗砂岩,发育粒序层理、交错层理等,推测为扇三角洲平原的分流河道沉积;局部可见中—粗砂岩组成的反韵律特征,并发育交错层理、波状层理等,推测为扇三角洲前缘亚相。

为了寻求内在规律,笔者对同一深度段的典型岩

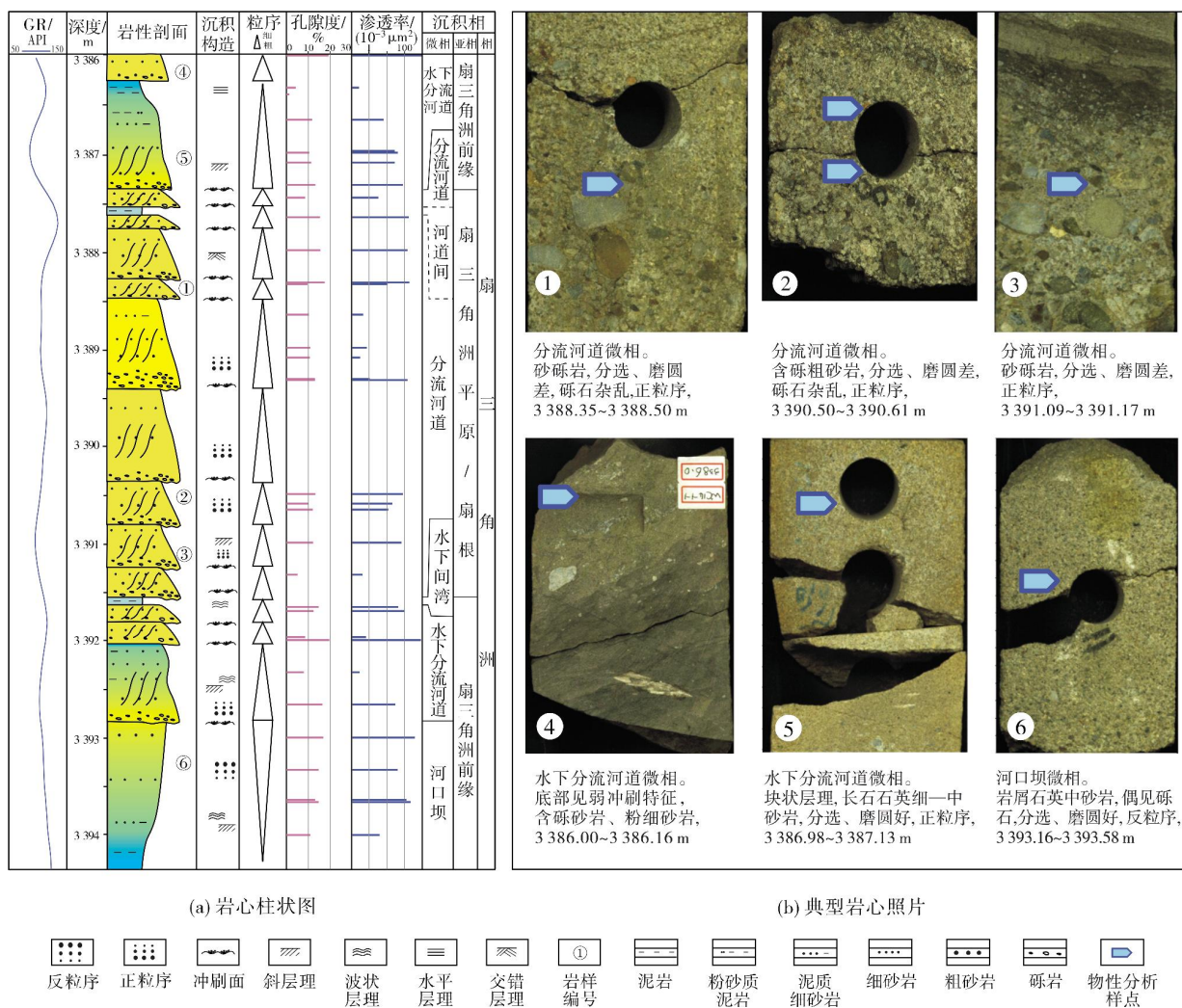


图8 珠江口盆地文昌G区A1井恩平组一段扇三角洲岩心相特征

相、沉积构造及样点的常规物性实验分析结果进行综合分析发现:在砾石发育且呈无序排列、泥质杂基多或粒序层理发育的岩相组合段,储层物性较差;而在砂岩较为均质、分选和磨圆较好及局部可见交错层理发育的岩相组合段,储层物性明显变好,呈倍数增长。根据沉积序列精细对比得出:扇三角洲前缘亚相储层物性最好,孔隙度集中发育在13%~17%之间,渗透率为 $(14\sim129)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,整体为中低孔、中低渗特征,局部发育高渗储层;扇三角洲平原亚相储层物性较差,孔隙度多集中在5%~13%之间,渗透率为 $(0.41\sim20)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,以低孔低渗储层为主。

在这一差异性识别的基础上,笔者提出恩平组一段低位扇三角洲前缘沉积可能为低渗领域实现勘探突破的新方向^[17]。首先,其富泥沉积背景保证了本区的储盖组合条件^[1];其次,阶梯式断层控制沉积使得低位域的物质搬运距离更远,有利于碎屑颗粒分选和泥质杂基的淘洗,储层非均质性风险大大降低;尤其是,沿着向琼海凸起过渡的斜坡背景,扇三角洲沉积向西北尖灭,具备发育岩性圈闭的条件,可成为良好的勘探方向^[18]。高精度层序地层格架的建立和沉积序列的精细识别,为拓展勘探领域奠定了基础^[19-20]。

4 储层主控因素分析

对周边钻井的统计分析表明,成岩压实作用是影响储层物性的主要因素之一,同时,埋深在3 000~4 000 m的储层仍以原生孔为主,这反映出沉积相带和水动力条件的重要性。因此,笔者认为沉积环境是影响储层物性最基本的要素,其次是成岩强度,同时超压和油气早期充注等条件对储层的保护也不可忽视,它们对厘定“甜点”勘探方向^[21]具有重要意义。

4.1 沉积相分异是先决条件

中深层储层由于埋深相对较大,因而岩石的抗压实能力决定了其孔喉减小的程度,而这与组成沉积物的原始成分和结构相关^[22]。研究区恩平组以岩屑石英砂岩和石英岩屑含砾砂岩为主(图9),局部发育杂砂岩。通过岩石铸体薄片观察可见(图10):多数分选和磨圆差,泥质含量较高,颗粒间多呈凹凸-线接触;少数分选和磨圆较好,泥质含量少,孔隙发育

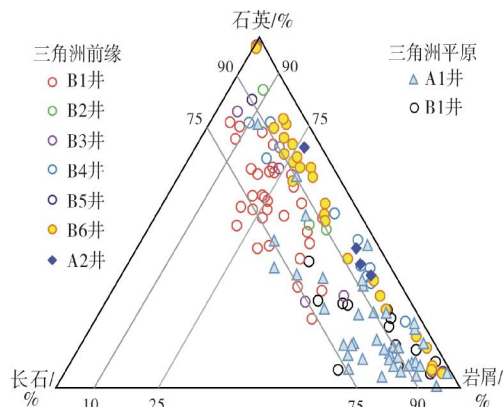


图9 珠江口盆地文昌G区恩平组扇三角洲砂岩成分三角图

程度高;孔隙类型多样,整体以粒间孔为主,且以原生孔占多数,次生孔为辅。

恩平组整体表现为中低孔、中低渗特征(图8)。笔者进一步统计了储层物性与沉积环境各表征要素的相关性(图11),发现储层孔隙度与粒级没有明显的相关性,而与泥质含量、分选系数呈明显的负相关。

此外,储层物性与岩石组分也有一定的相关性。扇三角洲平原砂岩成分成熟度、结构成熟度低,储层物性相对偏差,而扇三角洲前缘则物性明显偏好。这表明沉积相带和水动力条件是影响物性的首要因素。恩平组优质储层多经过一定的搬运淘洗,形成于水动力条件相对较强的高能环境。相似的深度范围内,扇三角洲前缘的储层物性较扇三角洲平原明显偏好,这是因为随着水流的冲刷淘洗,虽然三角洲前缘粒级有变细的趋势,但碎屑成分以刚性石英颗粒为主,分选性与磨圆度较好,泥质含量低,因此抗压实能力较强^[23]。

研究区中深层恩平组储层整体具有横向分带、纵向分层的特点。横向上,扇三角洲前缘较之近物源杂乱堆积的扇三角洲平原的储层物性偏好,其中,以水动力条件较强的主流线区发育的水下分流河道和河口坝微相最佳,席状砂和远砂坝微相次之;纵向上,位于断陷萎缩期至断拗转换期的恩平组一段的储层物性相对较好,较之初始裂陷期近源堆积的文昌组和恩平组二段有明显优势,推测这与断裂活动性的差异及湖平面的频繁变化有关。

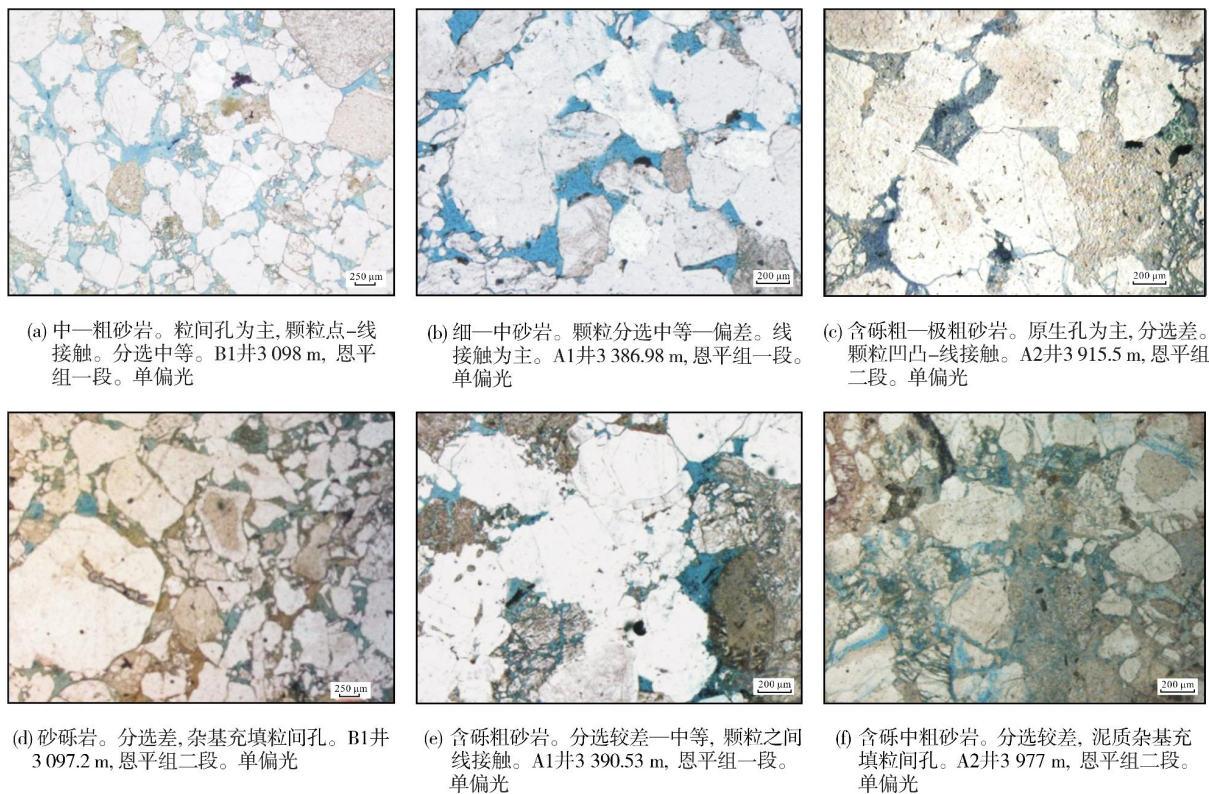


图 10 珠江口盆地文昌 G 区恩平组扇三角洲砂岩储层微观特征

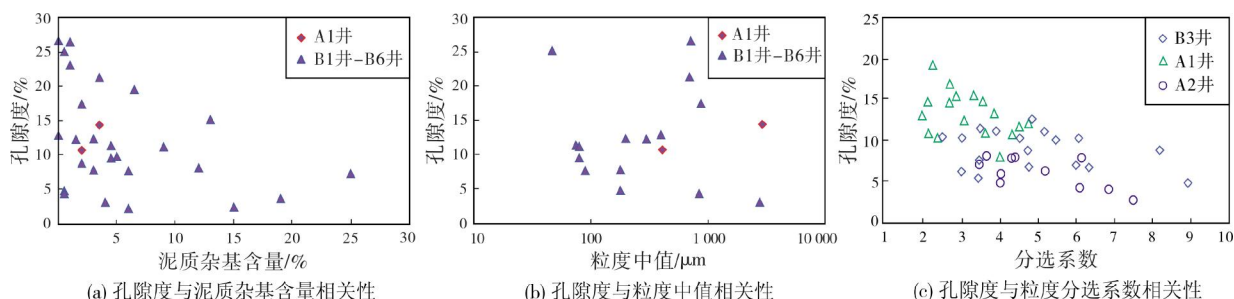


图 11 珠江口盆地文昌 G 区恩平组扇三角洲砂岩孔隙度与岩矿特征相关性分析

4.2 超压对储层具有保护作用

受到断裂幕式活动和整体湖侵的影响, 恩平组各层序的扇三角洲范围呈现自下而上逐渐减小的趋势。区域上, 在恩平组沉积中晚期为整体富泥的沉积背景, 尤其在物源欠发育区和洼中, 钻井均揭示了一定厚度、埋深较大的泥岩段。进一步由压力剖面(图12)可知, 这套泥岩段在A2井和A1井均存在一定的超压^[24], 并且在压力异常段储层物性有明显增加, 这与拟合的文昌A凹陷的孔隙演化趋势有所偏离。笔者推测, 恩平组作为主力烃源岩

层, 生烃作用、黏土矿物转化脱水、上覆地层载荷增加以及厚层泥岩的封存作用, 共同导致了研究区恩平组的超压, 并在一定程度上起到保护储层、抑制或者延缓黏土矿物转化和碳酸盐胶结物形成的作用^[25-26]。

超压可造成矿物溶解度增大, 抗压实能力增强, 这些既有利于原生孔隙的保存, 也有利于矿物溶蚀作用, 储层物性因此会随之变好。据统计, 超压带的孔隙度可高于理论值的2%~3%, 可见异常高压带的存在同样是影响恩平组储层物性的重要因素之一。

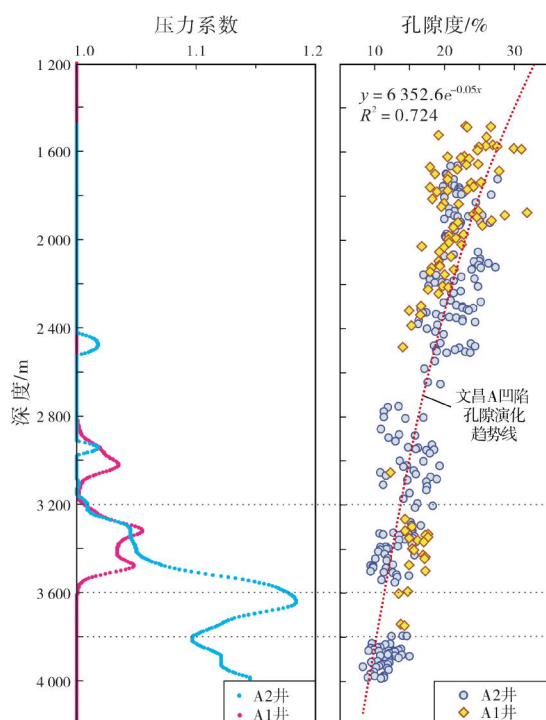


图 12 珠江口盆地文昌G区压力系数、孔隙度随埋深的变化

4.3 早期烃类充注可保护储层

区域上的包裹体分析资料表明,文昌G区及周缘主要经历了2期成藏,分别为15~10Ma之间较早期的原油充注和约5Ma以来的大规模天然气充注^[27-28]。在包裹体资料显示为早期充注的层系内,可在低—特低渗背景下发育中孔中低渗的“甜点”储层^[29]。本区恩平组广泛发育的浅湖相泥岩,于中新世珠江期已陆续进入生烃门限,并逐步达到生排烃高峰^[30-31]。恩平组扇三角洲砂岩早期成藏的优势十分明显,储层与烃源岩纵向叠置、侧向相接(图6a),油气也可通过断裂输导运移。早期烃类充注可有效保护储层,一定程度上阻碍压实作用,并抑制胶结物形成,使得原生孔隙得到保存而形成深埋藏的“甜点”储层,从而进一步拓深文昌G区的勘探下限。

5 结论

(1)依托新的高密度地震资料,在珠江口盆地西部文昌G区识别出3期3向断裂体系,其中第2期NEE向展布的顺向断阶造成了恩平组一段早期沉积中心向洼中的迁移,控制了大型低位域三角洲的

展布。井震结合建立了恩平组高精度层序格架,其中,上层序(恩平组一段)低位扇三角洲的石油勘探意义重大。

(2)文昌G区恩平组扇三角洲砂岩整体呈现纵向分层、横向分带的特点;中低位扇三角洲多期朵体分布范围最广;平原亚相表现为砂泥岩混杂堆积的特点,前缘亚相砂岩分选较好,以均质沉积为主。

(3)恩平组扇三角洲砂岩储层受沉积相带和早期烃类充注等因素控制,同时受到成岩强度和高压异常带等多因素影响。扇三角洲前缘水下分流河道、河口坝微相储层物性相对较好。上层序的低位扇三角洲发育泥质含量较低、分选好的砂体,且上覆超压泥岩是油气保存的良好盖层,可作为有利的勘探方向。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 季洪泉,王新海.珠江口盆地西部文昌A凹陷油气勘探潜力分析与预测[J].天然气地球科学,2004,15(3):238-242.
- [3] HUANG Baojia. Geochemistry grouping and origins of crude oils in the West Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea [J]. Organic geochemistry, 2003, 34: 993-1008.
- [4] 甘军,张迎朝,邓勇,等.珠江口盆地西部文昌A凹陷古近系天然气富集主控因素与勘探方向[J].中国海上油气,2009,21(6):367-371.
- [5] 甘华军.珠江口盆地西部文昌A凹陷油气运聚历史与成藏规律[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2007.
- [6] 甘军,张迎朝,邓志勇,等.文昌A凹陷古近系低渗凝析气藏成藏特征与成藏模式[J].天然气地球科学,2012,23(6):1060-1069.
- [7] 尤丽,李才,刘景环.文昌A凹陷珠海组储层区域成岩作用特征及定量评价[J].大庆石油学院学报,2012,36(2):7-13.
- [8] 何家雄,张伟,颜文,等.中国近海盆地幕式构造演化及成盆类型与油气富集规律[J].海洋地质与第四纪地质,2014,34(2):121-134.
- [9] 雷宝华,郑求根,李俊良,等.珠三拗陷珠三南断裂形成演化及其对沉积中心迁移的控制[J].石油学报,2012,33(5):807-813.
- [10] 赵俊青,纪友亮,夏斌,等.扇三角洲沉积体系高精度层序地层学研究[J].沉积学报,2004,22(2):302-309.
- [11] 林畅松,张燕梅,刘景彦,等.高精度层序地层学和储层预测[J].地学前缘,2000,7(3):111-112.
- [12] 秦国权.珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化[J].中国海上油气(地质),2002,16(1):1-10.
- [13] 丁琳,舒誉,蓝倩,等.惠州凹陷古近系恩平组层序地层划分及展布特征[J].中国海上油气,2008,20(6):370-372.
- [14] 姜华,王华,李俊良,等.珠江口盆地珠三拗陷层序地层样

- 式分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(1): 87-93.
- [15] 李佳鸿, 吴煜宇. 国外扇三角洲研究新进展[J]. 四川地质学报, 2012, 32(1): 54-57.
- [16] 李珊珊, 彭松, 陶倩倩, 等. 涪西南凹陷南斜坡晚始新世扇三角洲复杂储层预测关键技术及油气地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(2): 160-168.
- [17] 朱筱敏, 信荃麟. 湖泊扇三角洲的重要特性[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1994, 18(3): 6-11.
- [18] 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷盆地隐蔽油藏预测及勘探的关键技术: 高精度地震探测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学, 2002, 27(5): 592-597.
- [19] ESCALONA A, MANN P. Sequence-stratigraphic analysis of Eocene clastic foreland basin deposits in central Lake Maracaibo using high-resolution well correlation and 3-D seismic data[J]. AAPG bulletin, 2006, 90(4): 581-623.
- [20] 杜文波, 孙桂华, 舒誉. 珠江口盆地恩平凹陷古近系恩平组地震沉积学研究[J]. 地质科技情报, 2015, 34(3): 220-229.
- [21] 罗东红, 梁卫, 李熙盛, 等. 珠江口盆地陆丰 13-1 油田古近系恩平组突破及其重要意义[J]. 中国海上油气, 2011, 23(2): 71-75.
- [22] 邹才能, 陶士振, 张响响, 等. 中国低孔渗大气区地质特征、控制因素和成藏机制[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2009, 39(11): 1607-1624.
- [23] 龙更生, 施和生, 郑荣才, 等. 珠江口盆地惠州凹陷深部古近系储层特征及发育控制因素[J]. 海相油气地质, 2011, 16(3): 71-78.
- [24] 甘军, 谢玉洪, 张迎朝, 等. 文昌 A 凹陷恩平组异常高压与油气成藏关系[J]. 中国海上油气, 2014, 26(6): 7-13.
- [25] 葱克来, 操应长, 金杰华, 等. 冀中拗陷霸县凹陷古近系中深层古地层压力演化及对储层成岩作用的影响[J]. 石油学报, 2014, 35(3): 867-878.
- [26] 孟元林, 李斌, 王志国, 等. 黄骅坳陷中区超压对有机酸生成和溶解作用的抑制[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 40-43.
- [27] 周雯雯, 郭迺熾. 珠江口盆地珠三坳陷有机包裹体初步研究[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(4): 233-239.
- [28] 陆江, 周刚, 郑榕芬, 等. 珠江口盆地文昌 A 凹陷中深层原油来源及成藏特征[J]. 中国海上油气, 2016, 28(1): 20-28.
- [29] 尤丽, 徐守立, 李才, 等. 低渗储集层成岩孔隙演化与“甜点”分布: 以南海北部珠江口盆地文昌 A 凹陷渐新统珠海组为例[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(2): 235-246.
- [30] 张迎朝, 徐新德, 尤丽, 等. 珠江口盆地文昌 A 凹陷低渗凝析气藏天然气成因及成藏模式[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(9): 1320-1328.
- [31] 黄保家, 李俊良, 李里, 等. 文昌 A 凹陷油气成藏特征与分布规律探讨[J]. 中国海上油气, 2007, 19(6): 361-366.

编辑:董庸

Sedimentary characteristics and main controlling factors of the fan delta of Oligocene Enping Formation in Wenchang G block, Pearl River Mouth Basin

LI Shanshan, PENG Song, CHEN Lin, LI Wei, LIU Xiaoyan, JIANG Rufeng

Abstract: Wenchang G block in the western part of the Pearl River Mouth Basin is adjacent to Shenhu uplift. During the early Oligocene Enping period, affected by the continuous activity of Zhushannan fault, multi-stage fan delta sedimentation with multiple sediment sources developed. This set of sedimentation has the characteristics of frequent vertical superposition and strong horizontal heterogeneity. Starting from the evolution of structure-sedimentary filling, this paper analyzes the influence of fault system on each stage of fan delta, and analyzes the vertical facies sequence change and plane reservoir distribution law considering the complexity of sedimentary inner. Vertically, Enping formation is divided into two sequences(upper and lower) and five subsequence sets. On the plane, a series of NEE faults developed in the early stage of upper sequence form a group of fault terraces developed from south to north, which changed the structure-sedimentary pattern at that time to a certain extent, and affected the distribution of delta in the lowstand stage, making it the most widely distributed. The sedimentary mechanism and hydrodynamic conditions are the important factors that affect the differences of reservoirs. Firstly, the sedimentary facies belt is the prerequisite to affect the physical properties of the reservoirs. The physical properties of the underwater distributary channel and mouth bar sandbody in fan delta front are obviously better than those in fan root of fan delta, with dominant primary intergranular pores supplementing by secondary pores. Secondly, the overpressure due to the thick mudstone of upper sequence would be helpful to the deep buried reservoir. It is indicated that the lowstand fan delta sealed by mudstone in Enping Member-1 would be the favorable exploration target.

Key words: fan delta; tectonic-sedimentary evolution; reservoir genesis; Oligocene; Wenchang Depression; Pearl River Mouth Basin

LI Shanshan, First author: MSc, Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology and petroleum geology. Add: Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China