

高雨, 屈红军, 陈硕, 等. 浪控三角洲发育特征: 以莺歌海盆地东方 1-1 气田上新统莺二段为例[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(11): 42-52.

浪控三角洲发育特征: 以莺歌海盆地东方 1-1 气田上新统莺二段为例

高雨¹, 屈红军^{1*}, 陈硕¹, 周伟², 莫冯阳²

(1 西北大学地质学系大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069; 2 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 湛江 524057)

摘要:浪控三角洲又可称为鸟嘴状弓形浪控三角洲, 目前学术界对其沉积特征的研究较少。以莺歌海盆地莺二段为例, 以测井相、地震相以及岩芯相的详细分析为基础, 结合研究区沉积背景, 揭示了浪控三角洲砂坝的发育特征。岩芯相上, 浪控三角洲砂坝主要发育槽状交错层理, 还含有少量生物遗迹构造; 测井相上主要表现为连续多个反旋回漏斗型沉积层序; 地震相上呈现条带状或弓形分布的低角度前积地震相。通过研究莺歌海组二段剖面相和平面相可知, 浪控三角洲砂坝平面形态呈弓形, 由西向东被泥流水道依次切割为 3 期沉积, 且随着向海方向推进, 砂体厚度逐渐增大。浪控三角洲为破坏性三角洲沉积, 其形成机理是由于波浪作用大于河流作用, 因而沉积模式受波浪改造作用影响较大。

关键词:浪控三角洲; 浪控砂坝; 反旋回; 低角度前积; 沉积模式; 莺歌海盆地

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.183

0 引言

目前, 国内外学者对浪控三角洲沉积机理及模式的研究较少, 受不同因素控制的三角洲沉积特征差异较大^[1-6], 而这些因素与油气的富集程度, 分布范围息息相关, 对于油气的勘探开发有着重要的意义。

SCRUTON^[7] 根据沉积物来源、形成过程以及对三角洲的沉积速率划分出建设性三角洲和破坏性三角洲 2 种类型, FISHER^[8] 认为建设性三角洲多为朵叶状或长轴型, 破坏性三角洲多为鸟嘴状; GALLOWAY^[9] 收集了近 30 个近代和古代海相三角洲资料, 将其划分为河控三角洲、浪控三角洲、潮控三角洲 3 个端元类型; 薛良清^[10] 在 GALLOWAY 分类研究的基础上, 深入研究了三角洲供源性质和

水体的改造程度, 从而将三角洲类型更加细分。国内外学者对浪控三角洲做了很多研究, 浪控三角洲又可称为弓形三角洲, 其骨架砂体为波浪改造的平行岸线分布的“障壁岛砂坝或者砂脊”^[11]。圣弗兰西斯科河三角洲常被引用为受波浪影响的鸟嘴状三角洲的典型例子, 与其有类似形态的还有 Godavari 三角洲^[12]; Rhone、Niger 与 Nile 三角洲显示出平滑弯曲的弓形形态, 这也是受波浪影响的三角洲的特征^[13-14]。近年来, 各种研究浪控三角洲的新方法、新技术不断涌现, 浪控三角洲的影响因素、分布样式以及沉积模式等逐渐成为关注热点^[15-17]。

本文从岩芯构造特征研究出发, 结合莺歌海盆地莺二段东方气田测井相、地震相分析典型的浪控三角洲砂坝特征, 并通过连井剖面的对比, 以地震相为基础圈定沉积相类型, 结合砂地比值与砂厚等值线确定沉积相平面展布特征, 建立东方气田东西分异的综合模式图。

1 区域地质概况

莺歌海盆地位于海南岛与印支半岛之间, 是南海北部陆架西部发育的新生代伸展型含油气盆地^[18]。盆地可划分为中央坳陷带、莺东斜坡带与莺西斜坡

收稿日期: 2020-11-24

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“南海深水油气资源潜力与大中型油气田勘探方向”(2016ZX05026-007)

作者简介: 高雨(1998—), 女, 在读硕士, 主要从事储层沉积学方面的研究工作。E-mail: 1837634479@qq.com

* 通讯作者: 屈红军(1967—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事储层沉积学方面的研究工作。E-mail: hongjun@nwu.edu.cn

带 3 个一级构造单元^[19-23](图 1a)。如图所示, 中央坳陷带是盆地的主体部分, 其上发育多个泥底辟构造带, 是莺歌海盆地构造的一大特色, 底辟泥页岩本身就是生烃岩, 具备良好的烃源条件, 其发育演化的过程中形成的伴生构造为油气的排烃运聚提供了良好的条件^[24-25]。该盆地在经历了 30 余年的勘探之后发现了多个具有商业价值的天然气藏, 主要分布在泥底辟构造周围^[26-27]。

本次研究区东方 1-1 气田位于莺歌海盆地中央坳陷带北部的大型底辟构造带上, 构造形态为一个呈长轴走向延伸的菱形, 勘探效果好, 经济效益也很显著, 是我国目前最大的海上自主开发气田^[28]。本文选取了 EW 向对比剖面, 在下文中对其地震相与测井相展布特征进行分析(图 1b)。

莺歌海盆地的基底包括古生代变质岩、白云岩以及中生代花岗岩等, 本次研究的目的层位于莺歌海盆地上新统莺歌海组莺二段(T27-T28), 自上而下依次发育有 I、II_上、II_下、III_上气组(图 2), 上新统在盆地中处于加速沉降期, 其区域沉积厚度范围约 463~2 435 m, 其中目的层(Y2I、Y2IIU、Y2IIL、Y2IIU)总厚约 200 m, 主要由厚层泥岩, 粉砂质泥岩, 泥质粉砂岩与粉砂岩 4 种岩性构成, 岩性呈现自下向上变粗的特点。莺二段地层为整合接触, 地层总体西厚东薄, 其顶层界面 T27 以明显的前积

层为特征, 底界面 T28 表现出强反射特征; 该盆地烃源岩主要位于下覆地层梅山组, 目的层为储盖组合。

2 沉积相特征及发育规律

2.1 沉积特征

通过分析岩芯构造特征、测井相以及地震相特征, 认为莺歌海组二段西侧主要发育浪控三角洲砂坝, 岩芯上主要发育槽状交错层理, 测井曲线上呈现多个连续的反旋回漏斗型层序, 地震相以低角度前积为主要发育类型。

2.1.1 岩芯沉积构造

对研究区岩芯进行观察描述, 其主要岩性有 4 种, 分别是粉砂岩、泥质粉砂岩, 粉砂质泥岩与泥岩, 且西部地区岩芯较为松散, 东部较为致密。通过观察岩芯, 可以看到研究区东部发育有块状层理, 含“泥包砾”结构; 而 4 井、5 井、8 井、9 井等西侧井位大量发育槽状交错层理, 其中 5 井最为典型, 在 I 气组与 II_上气组都有大量槽状交错层理发育, 还存在少量生物潜穴构造, 岩芯岩性呈现由下向上变粗的反旋回型特征(图 3)。槽状交错层理的典型特征是层系呈槽状, 互相切割, 一般反映单向流水的搬运作用, 在三角洲分流河道与河道区域较为常

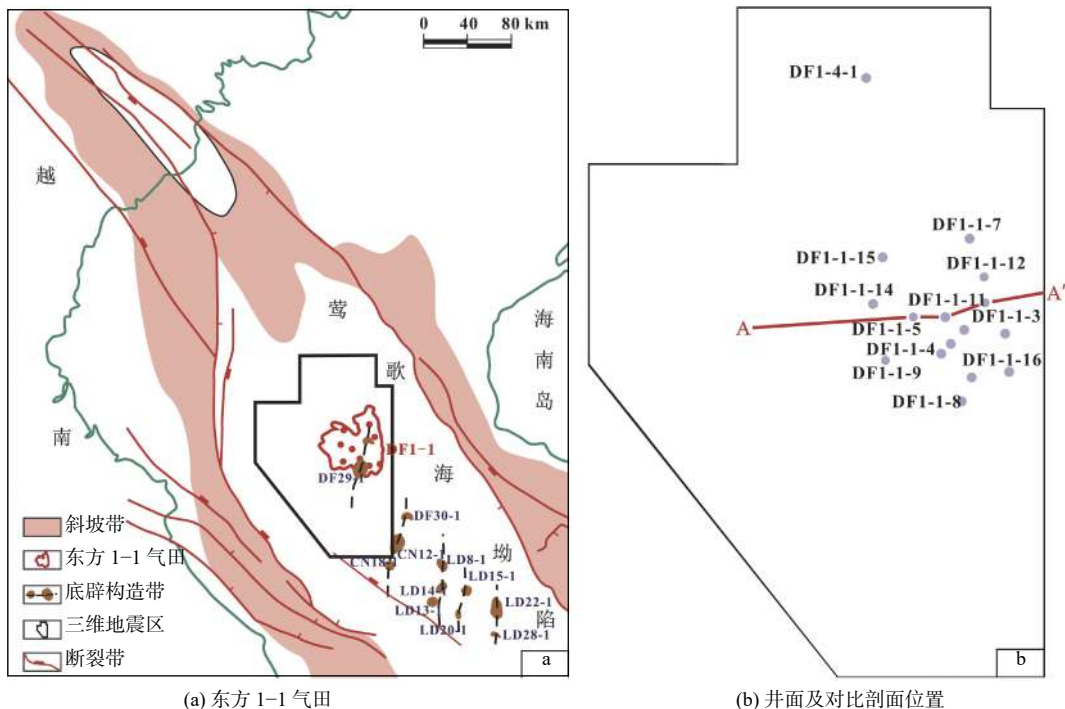


图 1 东方 1-1 气田、井位及对比剖面位置^[23]
 Fig.1 Location maps of Dongfang 1-1 gas field, wells and the correlation profiles^[23]

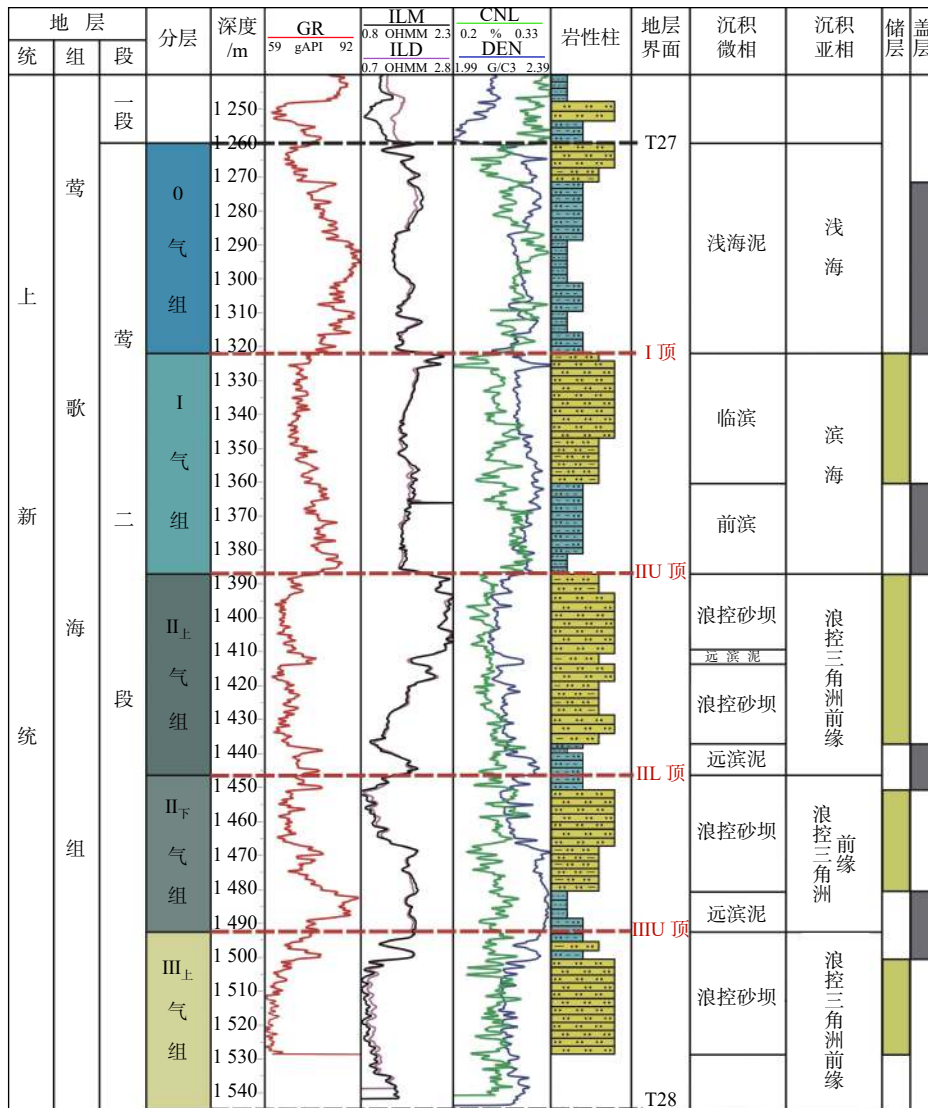


图 2 地层综合柱状图

Fig.2 Integrated stratigraphic column of the study area

见。而生物潜穴反映的是生物扰动强烈,常见于浅海砂坝环境。

研究区的取芯井共有 7 口,分别是 DF1-1-2 井、3 井、4 井、5 井、7 井、8 井、9 井,对其进行分析得出,西部井的岩芯沉积构造主要发育生物遗迹构造(图 4a、b)、生物潜穴(图 4e、g)以及槽状交错层理(图 4b、f),表明生物扰动强烈;概率粒度曲线均为“两段式”或“三段式”(图 4d、h),为跳跃、悬浮式搬运特征,反映的是牵引流的粒度特征。

2.1.2 测井相特征

测井相是测井曲线对不同沉积环境的综合响应,测井曲线的类型可以根据其幅度,形态,顶底接触关系,光滑程度划分出多种类型。

垂向层序上:研究区西侧以 5 井为代表自下向上发育连续多个反旋回的齿化漏斗型测井相(图 5),

齿化代表间歇性沉积迭加,处于动荡的水体环境,一般反映近源快速沉积的特点;漏斗型则代表分选逐渐变好,水流能量加强,比如浪控三角洲砂坝及滨浅海砂坝等。

对研究区探井各气组的测井相进行分析总结可得:研究区西部 5 井、8 井、9 井 IIU~IIIU 气组主要发育齿化漏斗型测井相;研究区东部 4 井、2 井、3 井主要为齿化漏斗型与齿化钟型相结合的测井相。与岩芯构造特征相结合进行分析,研究表明莺歌海盆地莺二段西侧 IIIU、III、IIU 气组地层沉积时期主要为浪控三角洲砂坝沉积,东侧则为砂质碎屑流沉积。

2.1.3 地震相特征

基于东方气田三维地震数据,在莺二段地层主要识别出:低角度前积、中振幅平行反射、平行-亚

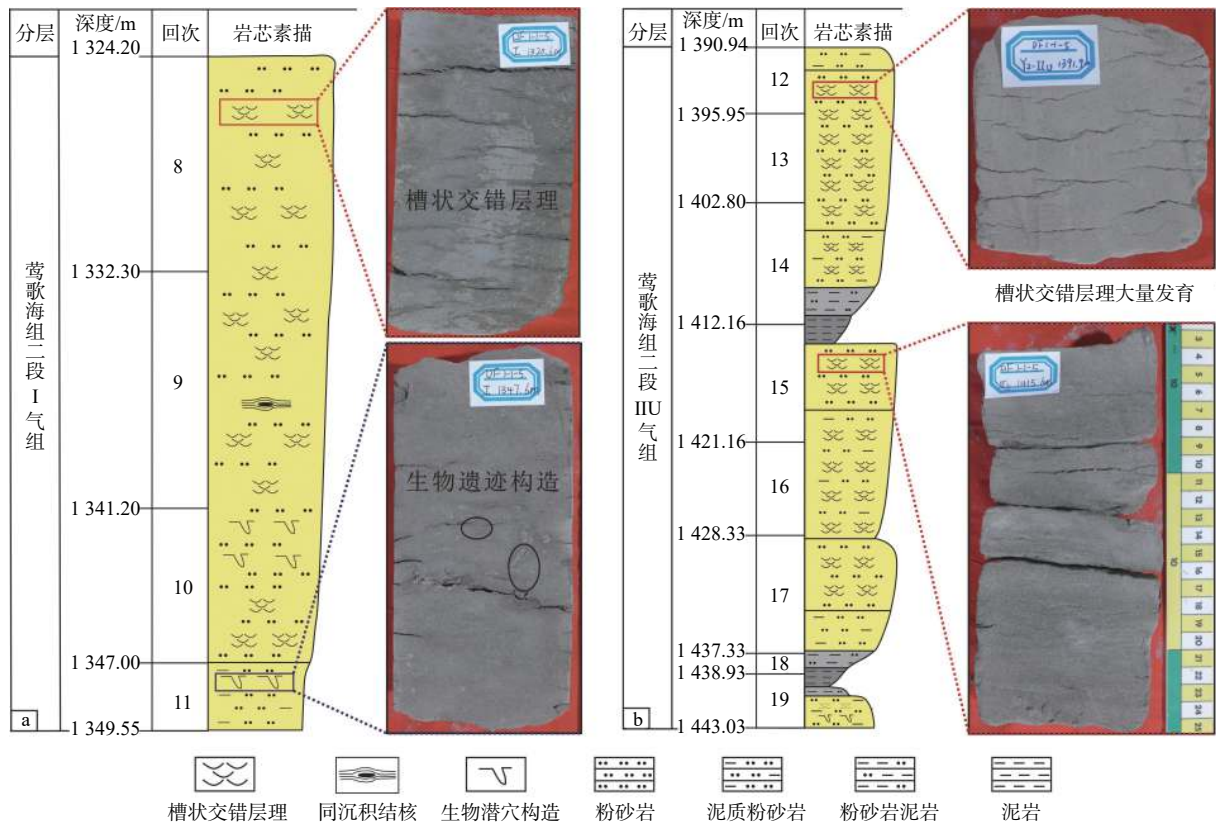


图 3 东方 1-1 气田岩芯岩性构造特征

Fig.3 Core lithology of the Dongfang 1-1 gas field

平行空白反射、水道充填反射四种类型的地震相, 其中最为核心的是低角度前积地震相与平行-亚平行反射地震相。

过 DF1-1-5—DF1-1-3 井东西向地震剖面 A-A' 显示研究区由西向东低角度前积反射明显 (图 6), 表明海岸带具有垂向加积和侧向迁移的特征。III_U~II_U 气组沉积时期研究区西侧广泛发育低角度前积地震相, 还存在水道充填地震相, 东侧则主要发育平行亚平行地震相与中振幅席状反射地震相, 表明研究区砂体东西分异; II_U 气组在 5 井—3 井剖面中部位置发育高角度侧积地震相, 靠近 3 井处地层减薄逐渐尖灭; I 气组沉积期大量发育水道充填地震相与平行席状反射地震相。

2.2 发育规律

莺歌海盆地莺二段沉积相目前存在争议, 不同的学者对此有不同的看法。本次研究根据岩芯相、测井相和地震相特征, 确定了东方气田的沉积相类型, 再结合砂厚及砂地比值建立沉积相图, 认为研究区主要发育浪控三角洲砂坝与浅海砂质碎屑流沉积, 其中, 研究区西部表现为典型的浪控砂坝特征。

2.2.1 剖面相展布特征

莺歌海组二段发育向海洋方向推进的沉积层序。本次研究根据以上岩芯相构造特征, 测井相与地震相特征, 确定了研究区沉积微相的主要类型是滨浅海背景下发育的浪控三角洲砂坝、浅海砂质碎屑流以及潮汐泥流水道。在由西向东的连井对比剖面上, 9 井、5 井、11 井、3 井沿研究区 W—NE 向展布。由连井相图 (图 7) 结合地震相图 (图 6) 可以得出:

剖面上: 各气组地层之间整合接触, 由下向上展布特征为: III_上-II_下 气组沉积期, 5 井至 3 井由浪控三角洲前缘逐渐转变为砂质碎屑流沉积, 砂体连通性较好; III_上 气组浪控三角洲砂坝与砂质碎屑流交界发育泥流水道; II_上 气组沉积期主要为浪控三角洲砂坝, 砂体连通性好, 由西向东靠近 3 井处随着地层减薄逐渐尖灭, 5 井与 11 井之间受泥流水道冲刷切割。

2.2.2 平面相展布特征

由地震相展布特征明确了相性质 (图 8a), 可知研究区砂体东西分异, 西部地区大量发育低角度前积地震相, 存在水道充填地震相冲刷切割; 而东部地区广泛发育平行亚平行空白反射地震相与中幅

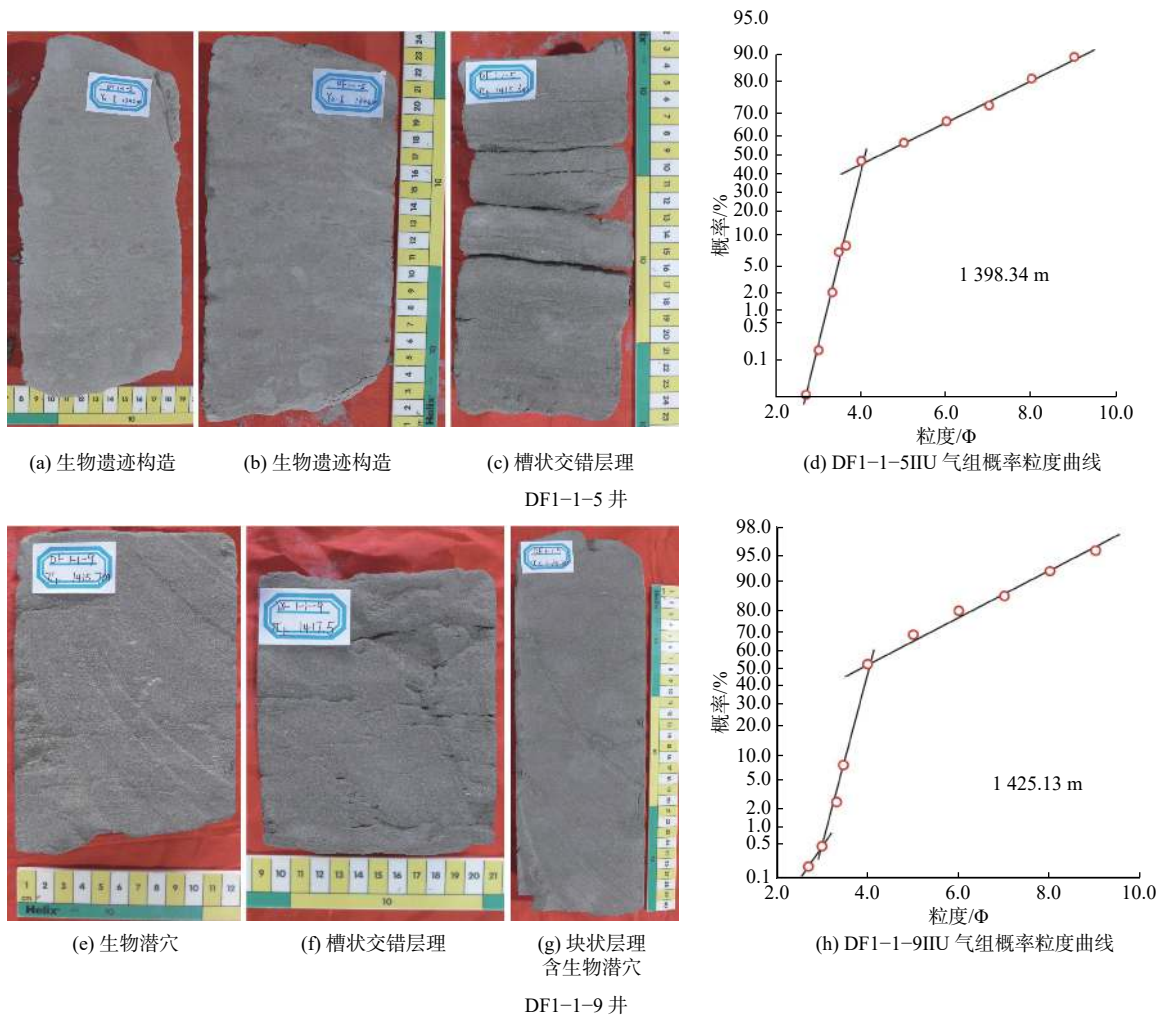


图4 莺歌海盆地东方 1-1 气田莺二段岩芯沉积构造与概率粒度曲线图

Fig.4 The sedimentary structures and grain size cumulative probability curve of the Ying II Member in Dongfang 1-1 gas field, Yinggehai Basin

平行席状反射地震相。在此基础上,利用砂厚(图 8b)和砂地比值(图 8c)确定了沉积相类型,研究区为“富砂相”。在此基础上,绘制了Ⅲ_上气组沉积相图,其展布特征如下:

平面上:浪控三角洲砂坝在研究区西侧呈弓形向海方向展布,由北向南展布面积逐渐扩大,分布范围广;东部则为浅海砂质碎屑流沉积,呈条带状分布。其中浪控三角洲砂坝被泥流水道由西向东冲刷切割为三期沉积,第三期浪控砂坝厚度最大,受波浪作用改造,三期沉积整体为向海推进的弓形形态,且由陆向海,厚度逐渐增大。

3 沉积背景及沉积模式

不同学者对莺歌海盆地东方 1-1 气田莺歌海组二段进行了许多的研究,对于其沉积相存在许多争议。吕明^[29]通过对比国外实例认为该区域主要发

育多种类型的低位沉积体系,其物源来自东、西 2 个方向;李胜利等^[30]通过对泥质重力水道沉积的研究得出该地区的砂体展布和沉积微相展布;姜平等^[28]对莺歌海盆地东方气田进行了储层精细描述,认为莺二段不发育前滨相,只发育下临滨和滨外两个亚相;岳绍飞等^[31]通过分析莺歌海盆地东方区物源和水动力环境,认为研究区主要发育砂质碎屑流沉积,这一认识为后面的研究提供了新的思路和方向。

3.1 沉积背景分析

莺歌海盆地是多物源沉积的局限海盆地,东西向受波浪作用控制,南北向为潮汐作用主导,在莺二段沉积期具有以下条件:

(1) 持续性物源供给

研究区西侧蓝江与马江为西部浪控三角洲的发育提供了持续性物源,在地震相上前积反射明显,

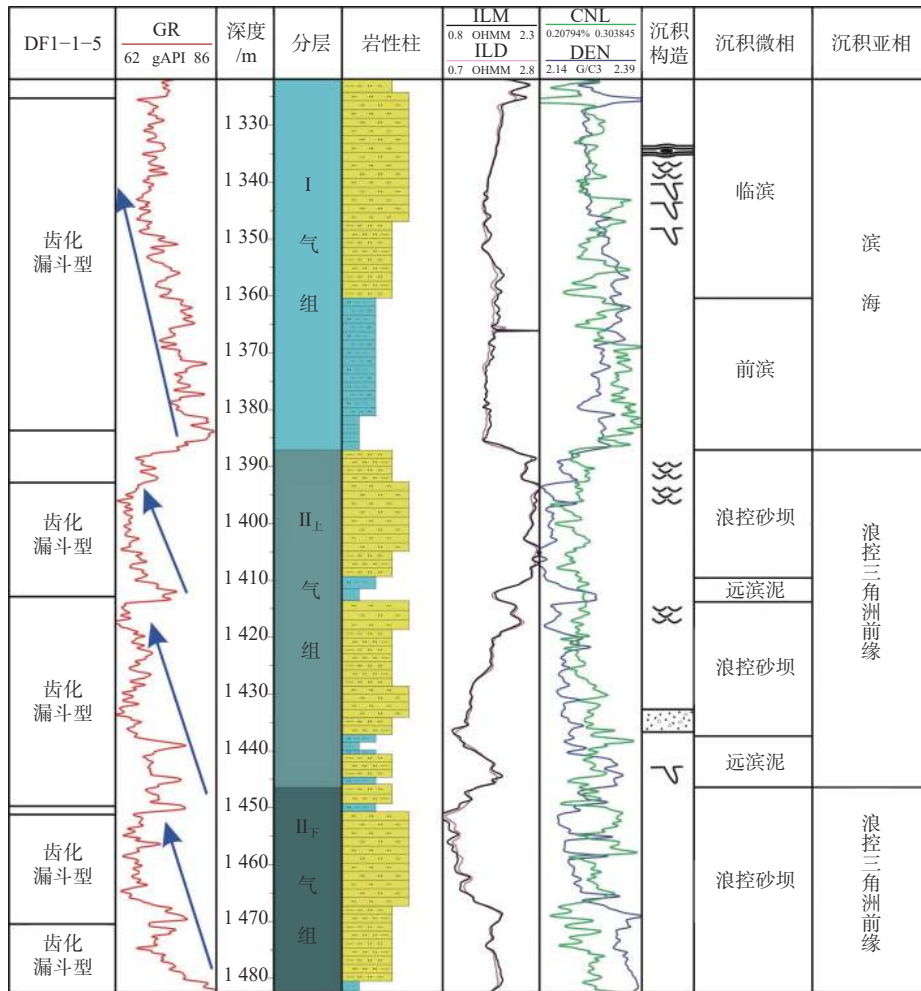
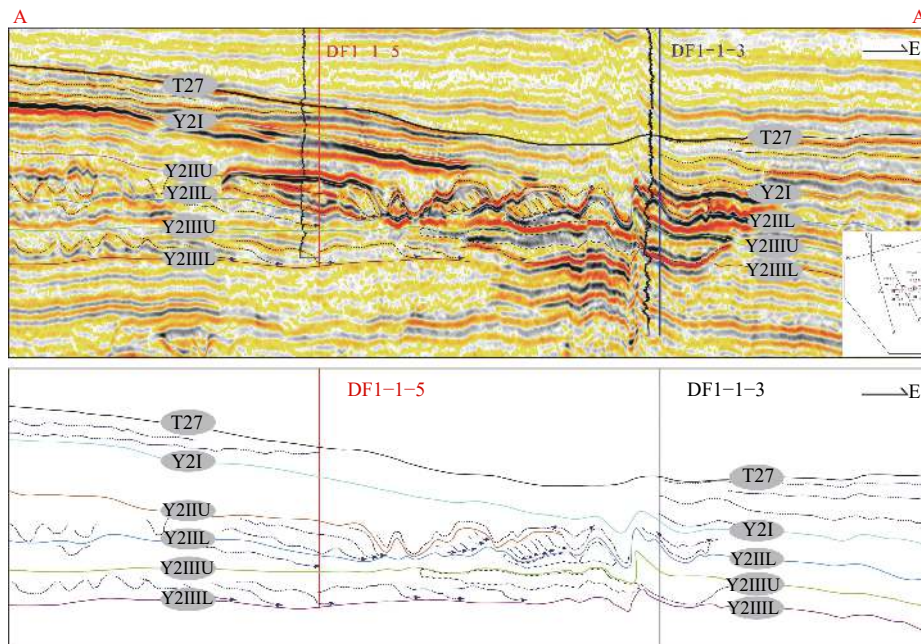


图 5 东方气田莺二段 DF1-1-5 井典型测井曲线特征

Fig.5 Typical logging curves from Well DF1-1-5 for Ying II Member of Dongfang gas field



剖面线位置见图 1

图 6 过 DF1-1-5—DF1-1-3 井东西向地震剖面显示由西向东的前积反射

Fig.6 The east-west seismic profile from well DF1-1-5 to well DF1-1-3 showing the progradation reflection from west to east

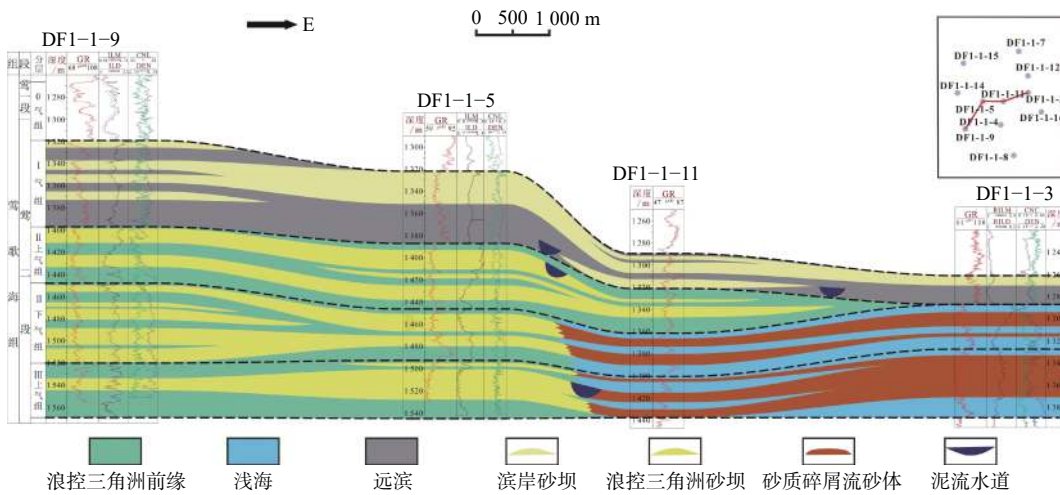
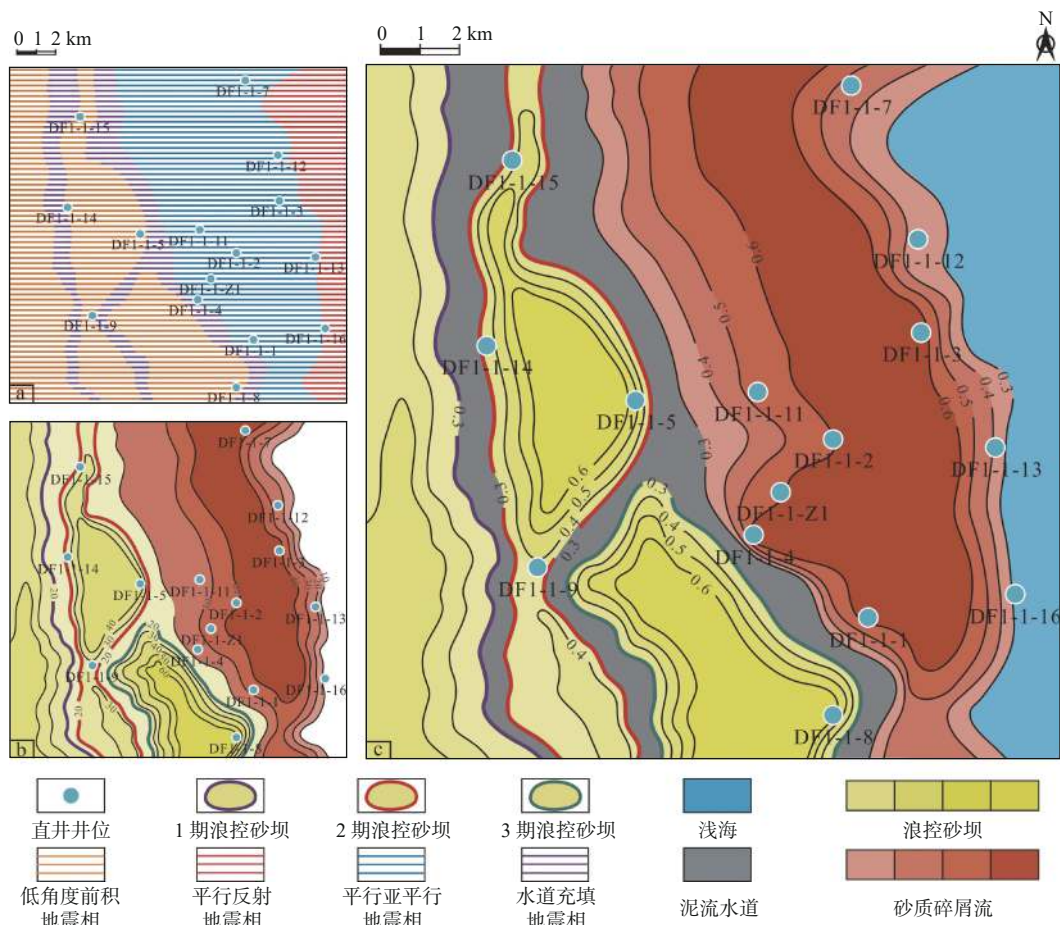


图 7 东方 1-1 气田莺二段 DF1-1-9—DF1-1-5—DF1-1-11—DF1-1-3 井连井沉积相对比剖面

Fig.7 Sedimentary facies correlation profile from well DF1-1-9—DF1-1-5—DF1-1-11—DF1-1-3 of Ying II Member in Dongfang gas field



(a)地震相; (b)骨架砂体厚度; (c)沉积相

图 8 莺歌海盆地东方 1-1 气田莺二段平面展布图

Fig.8 The layout of Ying II Member in Dongfang 1-1 gas field, Yinggehai Basin

北部红河向下搬运,为砂质碎屑流提供了很好的物源。

(2) 浪控三角洲砂坝沉积

在研究区西侧 5 井、8 井、9 井大量发育槽状交

错层理,层系呈槽状,一般反映的是单向流水搬运作用,主要存在于 III_上与 II_下气组的地层取芯中(图 9a)。

在 5 井、8 井取芯段中,还存在生物遗迹(图 9b)、生

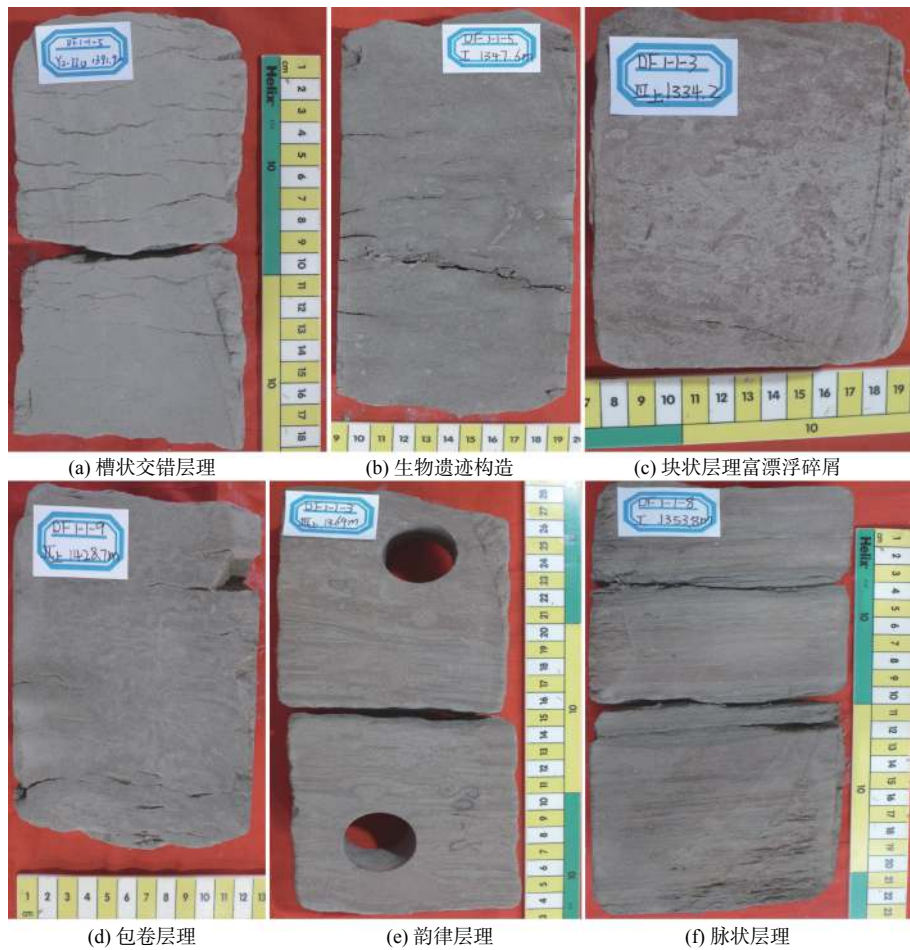


图 9 莺歌海盆地东方 1-1 气田岩芯构造特征

Fig.9 Core structural characteristics of Dongfang 1-1 gas field in Yinggehai Basin

物潜穴构造, 表明生物扰动强烈, 常见于浅海砂坝环境。

(3) 砂质碎屑流沉积

在研究区东部 3 井、4 井、7 井等东部井的取芯段中有块状层理富漂浮碎屑广泛发育, 漂浮泥屑是由浮力和流体强度支撑的泥质在沉积时形成, 是砂质碎屑流的典型特征(图 9c)。其次, 在 3 井 II_上气组岩芯出现了典型的包卷层理, 指示浅海风暴沉积(图 9d), 风暴沉积与红河引起的洪水重力流为砂质碎屑流形成的主要机制。

(4) 潮汐泥流水道冲刷作用

在研究区 3 井见到了反映潮控沉积的韵律层理(图 9e); 在 8 井观察到有脉状层理存在(图 9f), 而脉状层理属于潮汐层理的一种。表明在研究后期, 泥流水道对研究区进行了冲刷切割。

3.2 沉积模式

不同学者对建设性三角洲的沉积相展布有着充分的研究, 在沉积机理、微相展布上提供了很多

思路^[32-33]。但是对于破坏性三角洲的沉积特征与展布规律还缺乏统一深入的研究, 例如浪控三角洲与潮控三角洲^[1]。以莺歌海盆地莺二段为例, 在相标志、剖面相与平面相分析的基础上, 提出了波浪沉积背景下的沉积模式, 为浪控三角洲的研究提供实例(图 10)。

莺歌海盆地莺二段呈现多物源、多类型牵引流、重力流交互作用, 包括浪控三角洲砂坝牵引流, 泥流水道潮汐作用牵引流以及浅海砂质碎屑流。研究区总体呈现为东西分异的展布特征, 西部以 SN 向延伸的浪控三角洲砂坝为主, 东部为浅海砂质碎屑流沉积, 北部发育有潮汐泥流水道, 向下冲刷切割浪控砂坝沉积。

由于波浪作用大于河流作用, 浪控三角洲砂坝表现为向海延伸的弓形砂坝, 泥流水道的冲刷切割, 将其由西向东划分为 3 期沉积。由于波浪改造作用较大, 导致水下分流河道与河口沙坝微相不发育, 取而代之的是平行于海岸线, 南北向延伸, 弓形前积, 厚层发育的浪控砂坝特征。

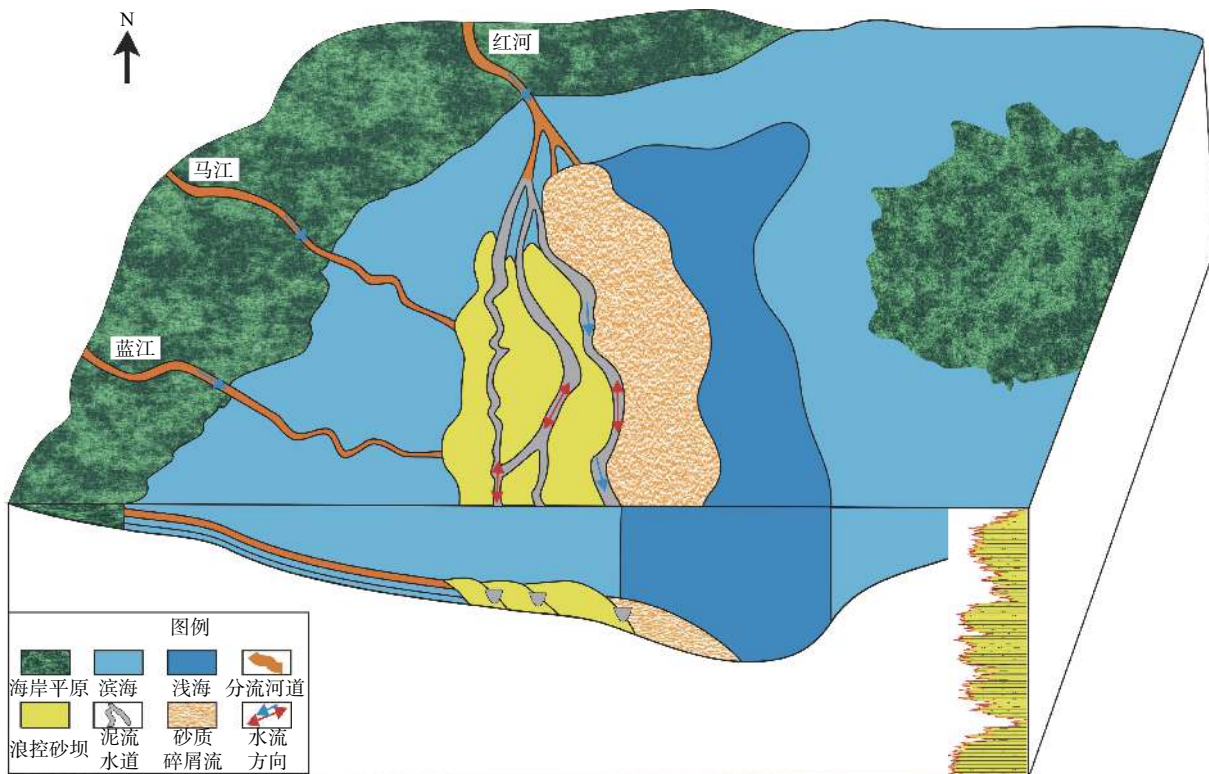


图 10 莺歌海盆地东方 1-1 气田上新统莺二段综合沉积模式

Fig.10 Comprehensive sedimentary model for the Ying II Member of Pliocene in Dongfang 1-1 gas field, Yinggehai Basin

4 结论

(1)通过岩芯相、测井相、地震相的特征分析,浪控三角洲砂坝广泛发育槽状交错层理和生物遗迹构造,在岩芯岩性表现为上粗下细的反旋回型特征,粒度曲线呈两段式或三段式的形态;测井曲线上呈现为连续多个反旋回漏斗型特征;通过研究地震剖面发现,浪控三角洲广泛发育弓形低角度前积地震相。

(2)剖面与平面的沉积相展布特征表明:浪控三角洲砂坝,具有条带状展布的特点,平面形态呈弓形,微相类型以浪控砂坝为主。莺歌海组二段受泥流水道冲刷切割,浪控砂坝由陆向海划分为三期沉积,且厚度逐渐增大。

(3)浪控砂坝的形成是由于河流作用弱,波浪作用强,被波浪改造后,沿河口两侧形成平行于海岸线的砂坝;波浪作用进一步加强时,使三角洲保持稳定,圆滑的前缘,就会形成弓形三角洲。

参考文献:

[1] VEEKEN P C H, VAN MOERKERKEN B. Seismic stratigraphy and depositional facies models[M]. Houten: EAGE Publications, 2013: 1-100.

[2] EL-SOROBY A, AL-KAHTANY K, ALMADANI S, et al. Depositional architecture and sequence stratigraphy of the upper Jurassic Hanifa formation, central Saudi Arabia[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2018, 139: 367-378.

[3] LIN C S, JIANG J, SHI H S, et al. Sequence architecture and depositional evolution of the northern continental slope of the south China sea: Responses to tectonic processes and changes in sea level[J]. *Basin Research*, 2018, 30(1): 568-595.

[4] 朱筱敏, 钟大康, 袁选俊, 等. 中国含油气盆地沉积地质学进展[J]. *石油勘探与开发*, 2016, 43(5): 820-829.

[5] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 等. 沉积地质学发展新航程: 地震沉积学[J]. *古地理学报*, 2019, 21(2): 189-201.

[6] CATUNEANU O. Scale in sequence stratigraphy[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, 106: 128-159.

[7] SCRUTON P C. Delta building and the deltaic sequence[J]. *Recent Sediments Northwest Gulf of Mexico*, 1960.

[8] FISHER W, MCGOWEN J. Depositional systems in Wilcox Group (Eocene) of Texas and their relation to occurrence of oil and gas[J]. *AAPG Bulletin*, 1969, 53(1): 30-54.

[9] GALLOWAY W E. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems[M]//Broussard M (Ed.), *Deltas: models for exploration*. Houston Geological Society, 1975: 87-98.

[10] 薛良清, Galloway W E. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类[J]. *地质学报*, 1991, 65(2): 141-153.

[11] BHATTACHARYA J P, GIOSAN L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction[J].

- Sedimentology, 2010, 50(1): 187-210.
- [12] KUBO, SUMIKO, NAGAKUMAR, et al. Palaeogeography and evolution of the Godavari delta, east coast of India during the Holocene: an example of wave-dominated and fan-delta settings[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology: An International Journal for the Geo-Sciences*, 2015, 440: 213-233.
- [13] 于水, 程涛, 陈莹. 尼日尔三角洲盆地深水沉积体系特征[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2012, 37(4): 763-770.
- [14] 谢启红, 邵先杰, 乔雨朋, 等. 尼罗河现代三角洲沉积特征解剖[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2016, 18(2): 31-35.
- [15] 赵霞飞, 李宗飞, 刘立. 辽河盆地宋家洼陷上侏罗统扇三角洲和浪控三角洲[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2002, 29(6): 591-599.
- [16] 储呈林, 林畅松, 朱永峰, 等. 塔北隆起东河砂岩层序地层和沉积体系研究[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(1): 15-20.
- [17] 李维祿, 徐怀民, 高思宇, 等. 三角洲改造背景的浪控滨岸砂体成因类型及展布特征: 以塔里木盆地东河塘地区“东河砂岩”为例[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(9): 86-95.
- [18] 任建业, 雷超. 莺歌海-琼东南盆地构造-地层格架及南海动力变形分区[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(12): 3303-3314.
- [19] HAO F, LI S T, SUN Y C, et al. Characteristics and origin of the gas and condensate in the Yinggehai Basin, offshore South China Sea: evidence for effects of overpressure on petroleum generation and migration[J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 24(3): 363-375.
- [20] LI S T, LIN C S, ZHANG Q M, et al. Episodic rifting of continental marginal basins and tectonic events since 10 Ma in the South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(1): 10-23.
- [21] HUANG B J, XIAO X M, HU Z L, et al. Geochemistry and episodic accumulation of natural gases from the Ledong gas field in the Yinggehai Basin, offshore South China Sea[J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36(12): 1689-1702.
- [22] XIE X N, MÜLLER R D, LI S T, et al. Origin of anomalous subsidence along the northern South China Sea margin and its relationship to dynamic topography[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23(7): 745-765.
- [23] 岳绍飞, 张辉, 杨朝强, 等. 东方 A 气田浅海背景下莺歌海组“侧积”复合体成因机制分析[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(6): 32-37.
- [24] SUN Z, ZHOU D, ZHONG Z, et al. Experimental evidence for the dynamics of the formation of the Yinggehai basin, NW South China Sea[J]. *Tectonophysics*, 2003, 372(1): 41-58.
- [25] 何家雄, 咎立声, 陈龙操, 等. 莺歌海盆地泥丘发育特征与油气远景[J]. *石油与天然气地质*, 1990(04): 436-445.
- [26] HUANG B J, XIAO X M, DONG W L. Multiphase natural gas migration and accumulation and its relationship to diapir structures in the DF1-1 Gas Field, South China Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(7): 861-872.
- [27] 郝芳, 董伟良, 邹华耀, 等. 莺歌海盆地汇聚型超压流体流动及天然气晚期快速成藏[J]. *石油学报*, 2003, 24(6): 7-12.
- [28] 姜平, 于兴河, 黄月银, 等. 储层精细描述在东方 1-1 气田中的应用[J]. *地学前缘*, 2012, 19(2): 87-94.
- [29] 吕明. 莺-琼盆地低位沉积模式的新探讨[J]. *中国海上油气(地质)*, 2002, 16(4): 4-13.
- [30] 李胜利, 于兴河, 谢玉洪, 等. 滨浅海泥流沟谷识别标志、类型及沉积模式: 以莺歌海盆地东方 1-1 气田为例[J]. *沉积学报*, 2010, 28(6): 1076-1080.
- [31] 岳绍飞, 张辉, 覃利娟, 等. 莺歌海盆地东方区黄流组一段砂质碎屑流沉积模式[J]. *大庆石油地质与开发*, 2020, 39(4): 9-18.
- [32] 于兴河, 李胜利, 李顺利. 三角洲沉积的结构—成因分类与编图方法[J]. *沉积学报*, 2013, 31(5): 782-797.
- [33] 李小平, 柳保军, 丁琳, 等. 海相三角洲沉积单元划分及其对勘探砂体对比的意义: 基于现代珠江三角洲沉积水动力综合研究[J]. *沉积学报*, 2016, 34(3): 555-562.

GENETIC CHARACTERISTICS OF WAVE-DOMINATED DELTA: A CASE STUDY ON PLIOCENE YING II MEMBER IN THE DONGFANG1-1 GAS FIELD, YINGGEHAI BASIN

GAO Yu¹, QU Hongjun^{1*}, CHEN Shuo¹, ZHOU Wei², MO Fengyang²

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2 Zhanjiang Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Zhanjiang 524057, China)

Abstract: Wave-dominated delta, also known as the beak-shaped or bow-shaped wave-dominated delta, has rarely been studied in literatures on its sedimentary characteristics. Taking the Ying II Member in the Yinggehai Basin of the South China Sea as an example, based on the detailed analysis of logging, seismic and core facies, and combined with the sedimentary background of the study area, the genetic characteristics of sand bars of the wave-dominated delta are described in this paper. On the core facies, the wave-dominated deltaic sand bars are characterized by trough cross beddings with a small amount of lebensspur structures. In the logging curve it shows a series of continuous multiple reverse cyclic funnel-shaped sedimentary sequences. Low-angle progradational seismic facies are observed in bands or bow-shaped deposits. Based on the profile and plane views, it can be seen that the wave-dominated deltaic sand bars have a bow-shaped pattern in plane view, which is successively cut into three parts from west to east by mud flow channels, and the thickness of sand body increases progradationally. The wave-dominated delta is a destructive facies of a delta formed under the action of wave transformation when the wave action is stronger than the river.

Key words: wave-dominated delta; wave-dominated sand bar; reverse cycle; low-angle prograde; sedimentary model; Yinggehai Basin