

莺歌海盆地东方 A 气田莺歌海组二段沉积新认识: 海底扇浊积席状砂

岳绍飞, 张辉, 王庆帅, 成涛, 李佳, 陈晓武, 秦莎

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司)

摘要 莺歌海盆地东方 A 气田莺歌海组的沉积模式存在争议。综合利用岩心、录井、测井等资料分析沉积相类型, 在此基础上结合地震多属性及单井、连井分析, 研究各气组的沉积演化, 并对东方 A 气田沉积相形成的控制因素进行了总结。莺歌海组二段沉积时期发育三种沉积微相, 分别为浊积席状砂、滨外滩坝及滨外泥。该段Ⅲ、Ⅱ气组主要发育来自西部物源的海底扇外扇浊积席状砂, I 气组主要为滨外滩坝沉积, 滨外泥在各气组均有发育。东方 A 气田的沉积相受控于盆地的二级坡折带及沉积时期底辟的发生。本次研究关于莺歌海组二段浊积席状砂的认识, 改变了以往强调东部海南岛物源的滨外滩坝的模式, 为后期的开发调整起到了积极有效的作用。

关键词 莺歌海盆地; 东方 A 气田; 上新世; 莺歌海组; 沉积相; 浊积席状砂

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 概况

莺歌海盆地底辟构造带位于莺歌海坳陷(图1), 它是由于底辟的发育而形成的一系列背斜构造, 长轴近南北向, 呈雁行式排列。东方 A 气田位于底辟构造带的北端(图1), 为上新世莺歌海组浅层大气田, 产气层段主要分布在莺歌海组二段的 I、Ⅱ上、Ⅱ下、Ⅲ上气组(图2)。盆地上新世以来的裂陷阶段沉积了巨厚的、以海相沉积为主的地层, 其中莺歌海组来自东部海南岛及西部红河物源的大规模前积, 形成了碎屑供给充足的海退层序。盆地内莺歌海组总体表现为以厚层泥岩夹粉细砂岩为主, 但对于东方 A 气田莺歌海组二段Ⅲ上气组—I 气组(图2), 其岩性表现为下部大套粉细砂岩夹薄层泥岩, 而 I 气组为大套泥岩夹薄层粉砂岩, 砂岩、泥岩多受波浪与潮汐影响, 岩性不纯。

对莺歌海盆地东方 A 气田沉积模式的认识一直存在着争议。前人认为盆地莺歌海组为海南岛物源

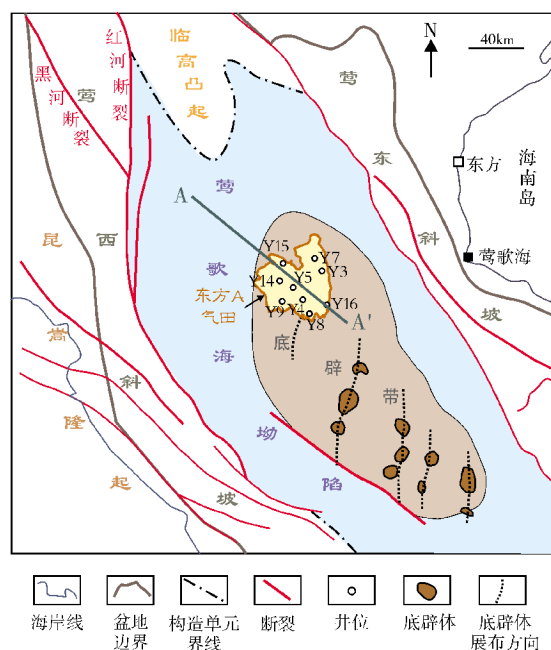


图1 莺歌海盆地东方 A 气田平面位置图

收稿日期: 2015-12-29; 改回日期: 2017-05-03

本文受中国海洋石油总公司科技项目“海上大型砂岩气藏开发中后期综合治理及开发策略研究”(项目编号: CNOOC-KJ125ZDXM06LTD04ZJ12)资助

岳绍飞: 1988 年生, 2014 年毕业于中国地质大学(武汉), 硕士, 工程师, 从事油气田开发地质研究。通讯地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油二区地宫楼; E-mail: yueshf2@cnooc.com.cn

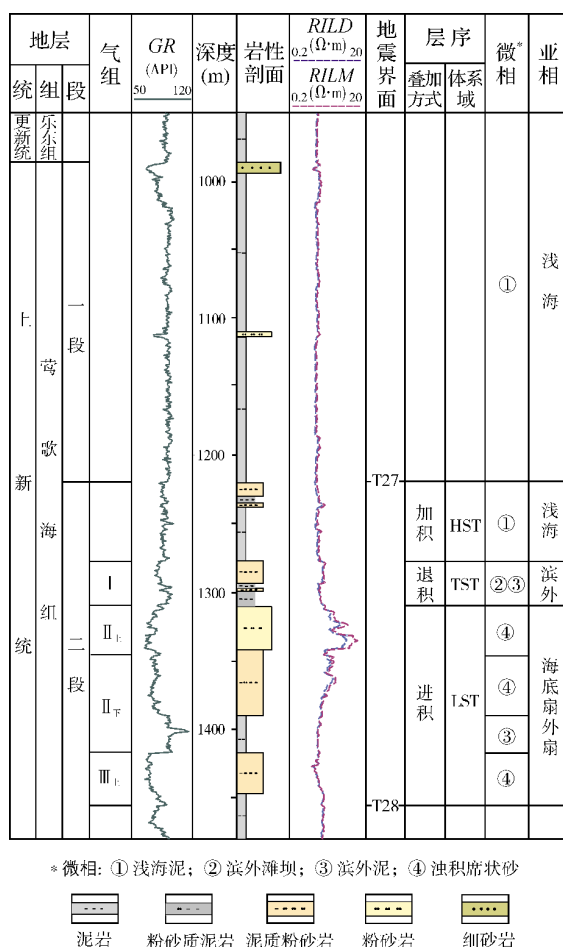


图2 莺歌海盆地东方A气田地层综合柱状图

为主的滨外滩坝相沉积^[1-2],主要依据是:(1)具厚层状细砂岩;(2)Ⅱ气组之下的含砂率大于60%;(3)岩性中可见小型浪成沙纹交错层理;(4)局部可见不同方向的交错层理;(5)普遍含钙;(6)生物扰动十分普遍,虫孔个体中等,密度大;(7)对岩心遗迹化石组合分析,认为莺歌海组沉积时期为偏泥质、安静、水体较深的滨外—陆架环境及(下)临滨环境。在滩坝相沉积模式指导下,2009年、2013年共投入4个井口,钻了11个井眼,但开发效率差。目前仅有4个井眼投入生产,且生产效果不好。开发实施的现状是该气田表现出越来越多的复杂、异常情况:气水分布无规律,砂体互相切割叠置,动用关系复杂。原有的“海南岛物源为主的滨外滩坝”模式难以解释这些异常情况,且对开发调整起不到应有的预测作用。地质家们逐渐意识到之前对沉积环境、搬运机理及水动力条件的认识可能存在着一定的误区,因此在新增大量评价井、开发井的同时,

在对地震工区重新处理的基础上,重新确定东方A气田莺歌海组储层的形成机制就显得极为重要。

本次研究从岩心观察入手,结合测井、录井、地震等资料,重新厘定了东方A气田莺歌海组二段各气组的沉积相特征,提出了东方A气田新的沉积认识,这可为后续的开发调整提供基础依据和指导。

2 沉积相类型

在对岩心、测井、地震及各种分析化验资料进行重新分析的基础上,笔者认为莺歌海组二段的Ⅰ气组发育滨外滩坝相沉积,而Ⅱ、Ⅲ气组主要发育海底扇外扇浊积席状砂沉积(图2)。

2.1 浊积席状砂

浊积席状砂主要发育在莺歌海组二段Ⅱ、Ⅲ上气组沉积时期。浊积席状砂是指海底扇外扇的无水道化^[3]部分,地形平坦,基本无水道发育,沉积物分布宽阔而沉积层较薄。浊积席状砂属于浊流沉积体系,岩性主要为深灰色、灰色细砂岩和粉砂岩,未见粗粒沉积物,主要发育鲍马序列的C、D、E段,另见较为典型的重力流沉积特征(图3,图4a),如块状层理、滑塌变形、重荷模、包卷层理等。

从粒度概率图上看出(图5),Ⅱ上气组主要为“两段式”的特征,且悬浮总体占主要部分,与浊流的紊流支撑相符合,且分选较差,为典型的重力流沉积特征。

2.2 滨外滩坝、滨外泥

滨外滩坝主要发育在莺歌海组二段Ⅰ气组沉积时期(图2),可细分为滨外砂坝和滨外滩砂,其中滨外砂坝厚度较大而平面分布窄,滨外滩砂厚度小而平面分布广。滨外滩坝岩性以灰色粉砂岩和泥质粉砂岩为主,砂体厚度薄且泥质含量高。该亚相发育多期薄层砂体的上下叠置,沉积构造表现出波状层理、复合层理、泥质纹层等,见虫孔、生物扰动构造(图4b),总体上反映水动力较弱且水深变浅的环境。滨外滩坝与下伏Ⅱ、Ⅲ上气组的浊积席状砂沉积区别明显:(1)砂体厚度较薄,上下多期叠置发育;(2)岩性较浊积席状砂岩要细;(3)沉积时期水动力较弱。

滨外泥主要为暗色泥岩,发育水平层理。滨外泥在各个气组均有发育,纵向上三个气组之间各有一套较厚的滨外泥岩将各气组分开,这在东方A气田区为较明显的标志层。

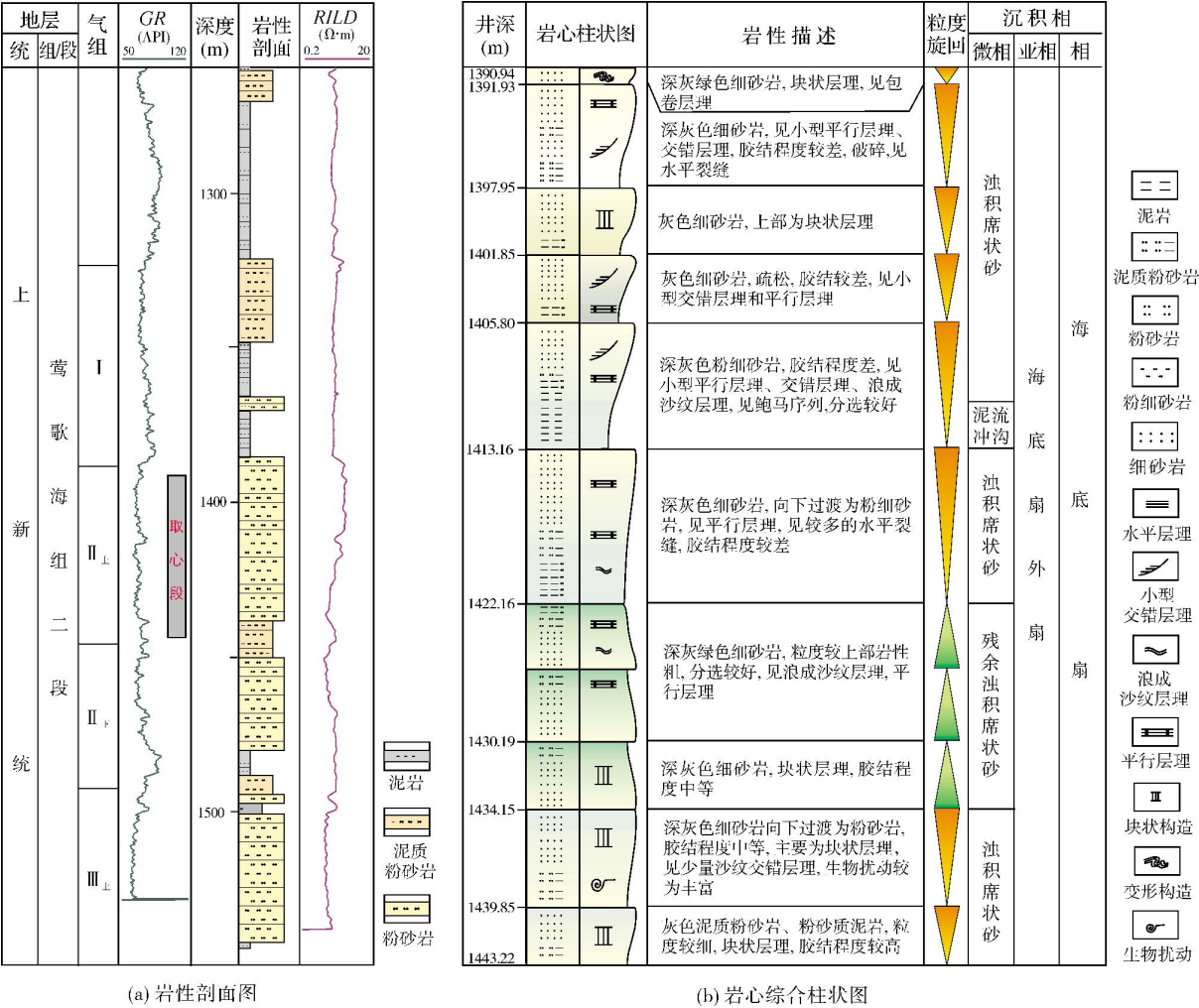


图3 莺歌海盆地东方A气田Y5井岩心沉积相图
钻井位置见图1

3 沉积演化特征

3.1 纵向沉积演化

垂向上,东方A气田各气组主要表现为底部是海相泥岩,中上部是粉细砂岩(图2)。受全球海平面升降变化、构造活动以及物源的共同影响,Ⅱ、Ⅲ气组储层以海底扇外扇浊积席状砂为主(图2),而Ⅰ气组的储层则以滨外滩坝为主,此外在Ⅰ气组之上还发育有大套的海相泥岩,表现为“泥包砂”的宏观特征(图2)。

同时,莺歌海组沉积时期还受到底流的影响,其中Ⅱ气组沉积后期是底流活动最剧烈的时期,表现为:构造高部位的先期沉积几乎完全被剥蚀,其余部位残余的储层也受到了强烈的改造,这种影响由上到

下(Ⅱ_上气组到Ⅲ_上气组)依次减弱。这些特征在垂直物源方向的连井剖面上有较为明显的反映^[1-2](图6)。

3.2 地震属性分析

依据岩心、单井、连井等资料,统计了探井所钻遇气组的含砂率及砂岩厚度数据,并结合地震多属性资料的分析,认为地震总能量与砂岩厚度之间以及地震总振幅与含砂率之间均具有一定的相关性(图7);总能量越高,所对应的砂岩厚度也越大;所钻遇气组的含砂率普遍大于80%,总振幅偏负,呈现波谷优势,且随着含砂率增加,总振幅的绝对值也增大。

以气田区莺歌海组二段Ⅱ_上气组为例,分别提取了总能量、总振幅属性(图8),砂岩储层主要发育区得到较好的反映。

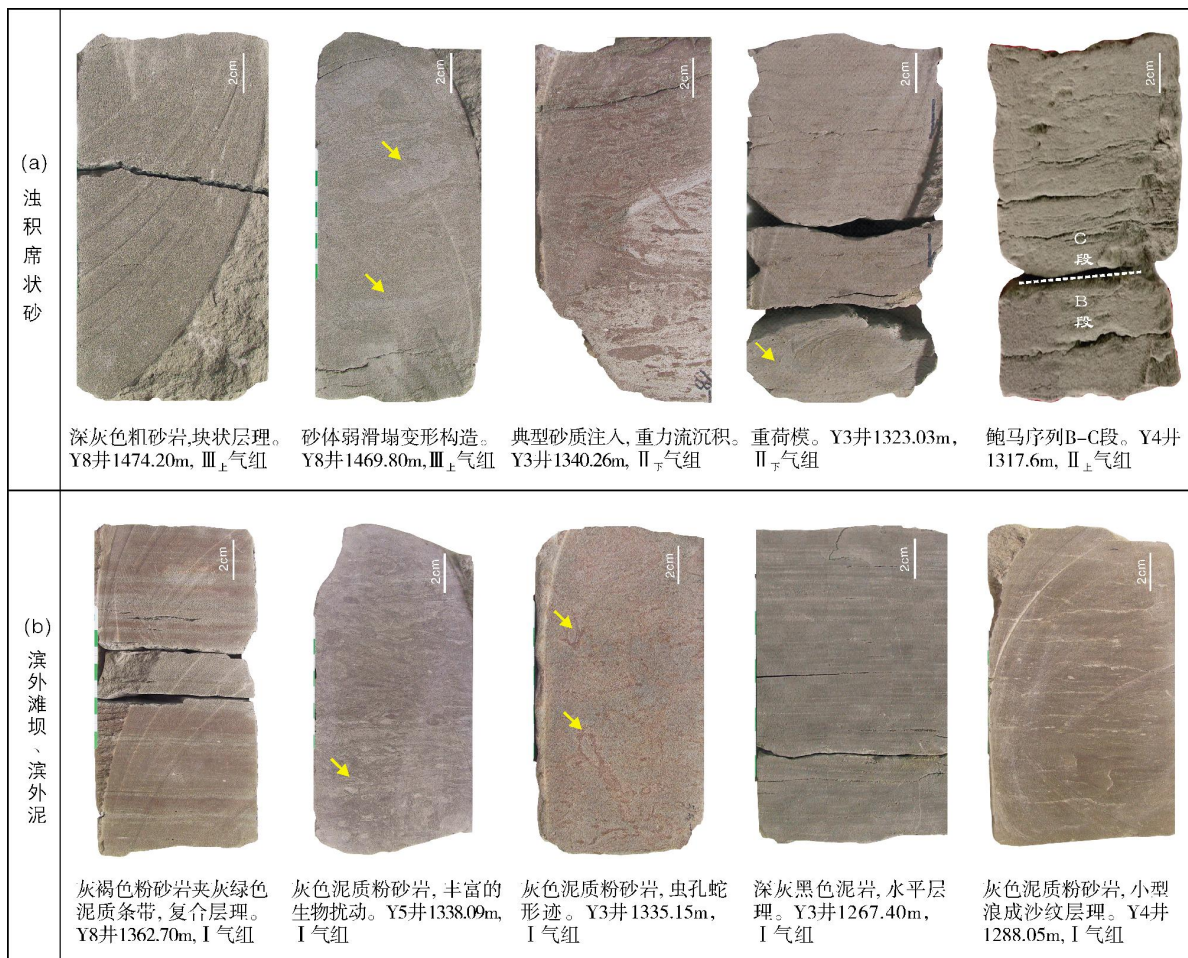
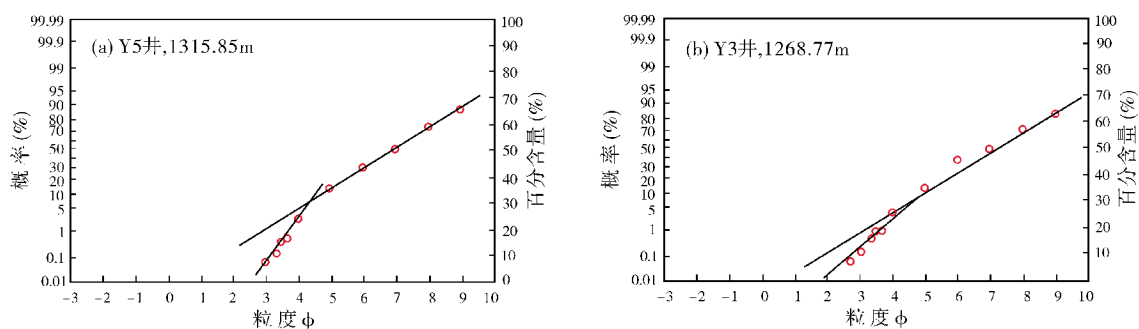


图4 莺歌海盆地东方A气田莺歌海组二段典型岩心沉积特征

钻井位置见图1

图5 莺歌海盆地东方A气田 II_上气组粒度概率累积图

3.3 平面沉积演化

莺歌海组二段沉积时期,受全球海平面升降及构造活动共同控制,莺歌海盆地沉积了一套以半深海—浅海相为主的地层,而东方A气田的储集层段,由于泥底辟活动或古地形高,沉积物相对较粗。

III_上气组沉积时期为T27—T28层序的低位域早期(图2),海平面缓慢下降,由于距海岸线较远,来自莺西斜坡的陆源三角洲前缘砂体在波浪作用下沿陆架坡折滑塌至外陆架非限制性环境中沉积下来。前人研究认为该时期东方A气田所在位置已经形成了一个古构造高地^[4],水深相对较浅,水动力较强,当

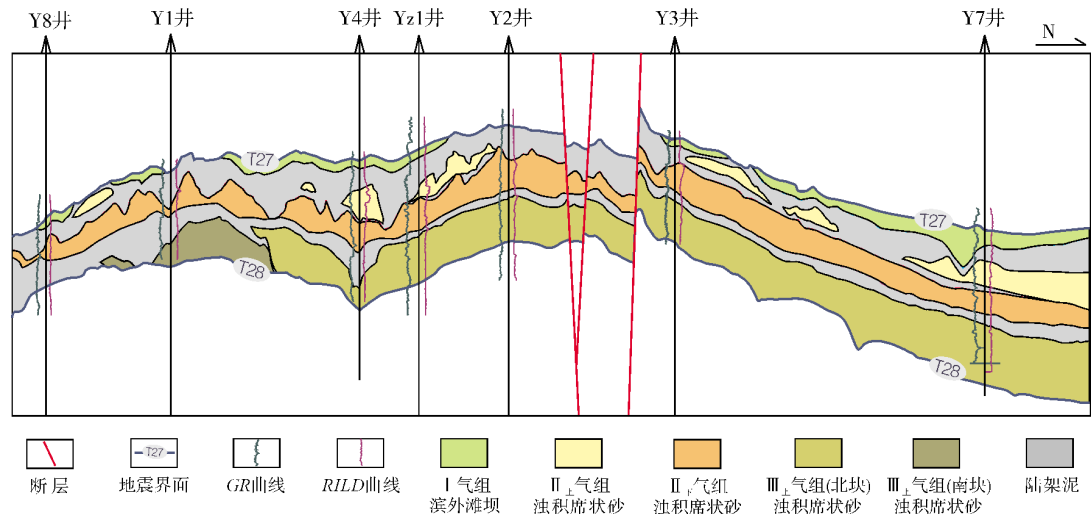


图 6 莺歌海盆地东方 A 气田南北向(垂直物源方向)连井剖面
连井剖面位置见图 9b

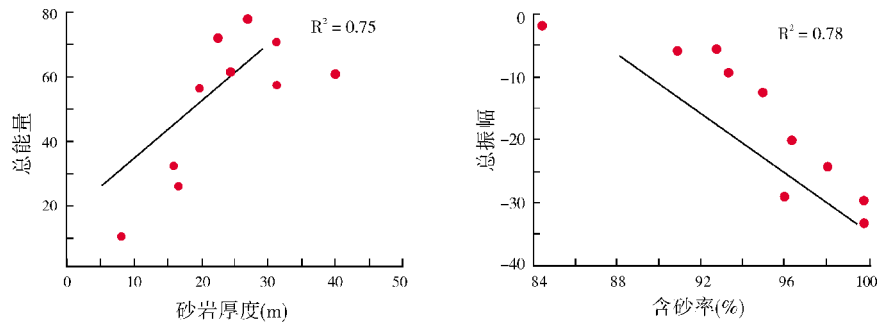


图 7 莺歌海盆地东方 A 气田砂岩发育情况与地震参数相关性统计

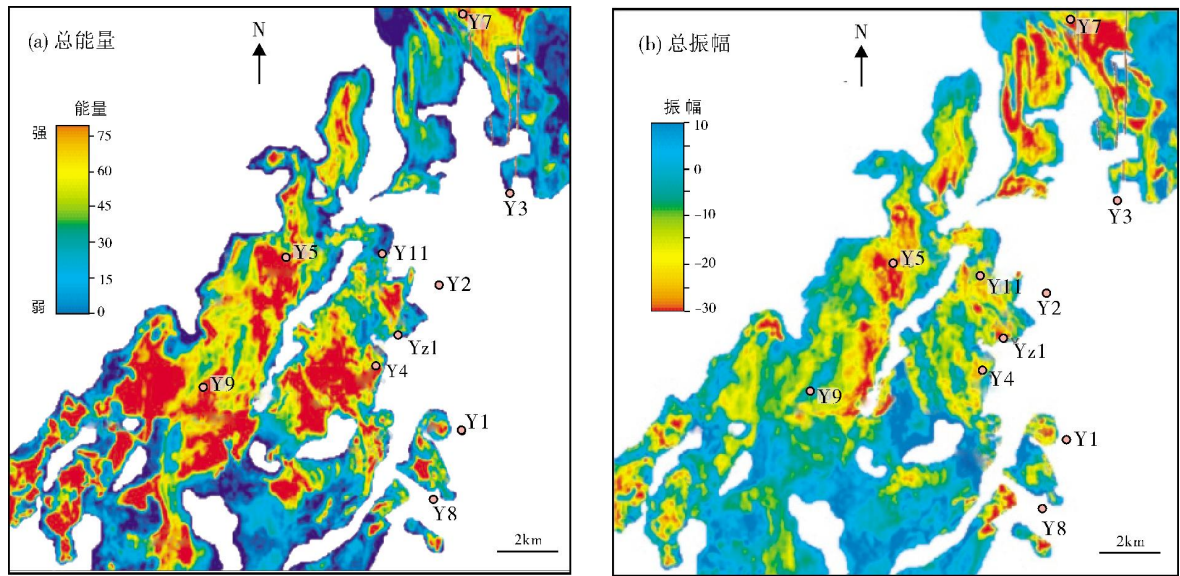


图 8 莺歌海盆地东方 A 气田莺歌海组二段Ⅱ_上气组地震属性平面图
图中白色区反映泥岩发育区

砂质碎屑物质以高密度浊流的形式搬运至沉降中心后, 在古构造高地区就存在一个由深水到浅水的低密度化沉积过程, 在此过程中, 高密度浊流逐渐转化为低密度浊流甚至牵引流, 在波浪作用下向局部水下高地迁移、富集, 并且堆积下来, 形成大范围连片分布、地层以垂向加积为主的厚层海底扇外扇浊积席状砂体(图9a)。

Ⅱ气组沉积时期为T27—T28层序的低位域时期(图2), 海平面持续下降, 前期的水下高地水体更浅。整体上, Ⅱ气组砂体以继承Ⅲ气组浊积席状砂沉

积为主(图9b, 9c), 并且到Ⅱ上气组沉积时水体已经相对很浅, 水动力进一步加强, 因此构造高部位局部受到底流的侵蚀。Ⅱ上气组沉积末期, 海平面已开始缓慢上升, 此时, 底流作用最强, 改造了Ⅱ上气组沉积(图10, 图6), 形成了剖面上所见到的冲沟和浊积席状砂相伴生的沉积地貌特征, 其中, 底辟隆起区发育的Ⅱ上气组地层几乎完全被剥蚀^[1], 下伏Ⅱ下气组和Ⅲ上气组也受到了不同程度的改造(图6)。Ⅱ气组沉积结束后, 随着海平面的逐渐上升, 底流作用所形成的冲沟为后期细粒沉积物所冲填而逐渐废弃。

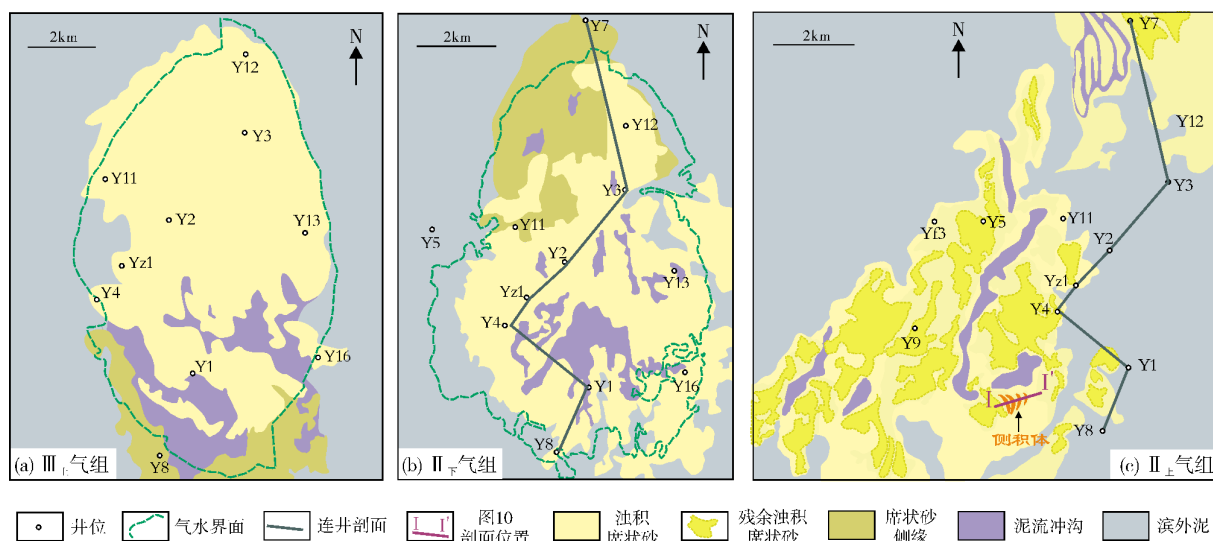


图9 莺歌海盆地东方A气田莺歌海组二段Ⅲ上气组—Ⅱ上气组沉积相平面图

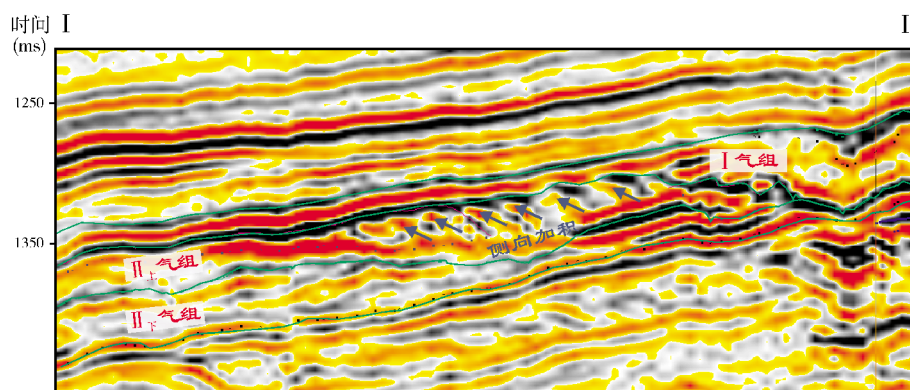


图10 莺歌海盆地东方A气田区典型侧向加积地震剖面

I—I' 剖面位置见图9c

I气组沉积初期为T27—T28层序的海侵期(图2), 海平面快速上升, 气田范围内接受了一套外陆架泥岩沉积, 覆盖并保存了Ⅱ上气组沉积。I气组沉积之后为T27—T28层序的高水位期, 受区域构造作用影响, 气田区的物源供给由原来的以西部物源为主转变为以东

部海南岛物源为主, 莺东斜坡发育的浊积扇经过长距离搬运, 抵达莺歌海坳陷的底辟带, 此时泥质含量已较高, 在区域高水位背景下, 随着短周期的海平面升降, 局部发育了滨外滩坝沉积(图11), 只是因此时的水体相对较深, 水动力较弱, 故砂体的规模小, 砂质少。

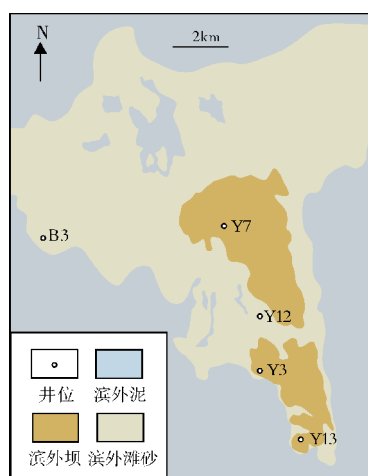


图11 莺歌海盆地东方A气田Y7井区
莺歌海组二段 I 气组沉积相

4 古地形对沉积的控制

不同类型与成因的古坡折带、古变换带和古沟谷的时空耦合,造成了物源供给系统的差异性,从而造成砂体展布位置、规模、外部形态及内部充填样式的差异性。海平面的周期性升降导致在陆架坡折带两侧(向陆和向海)形成不同的沉积体系组合:滨浅海陆架沉积体系(牵引流为主)和深水陆坡沉积体系(底流为主),深水陆架坡折及其所控制的低位体系域最有利于形成非构造油气藏^[5-7]。莺歌海盆地陆架边缘发育两类坡折带^[8]:近岸的陆架边缘坡折带及靠近盆地中央的沉积坡折带(图12)。在这两级坡折

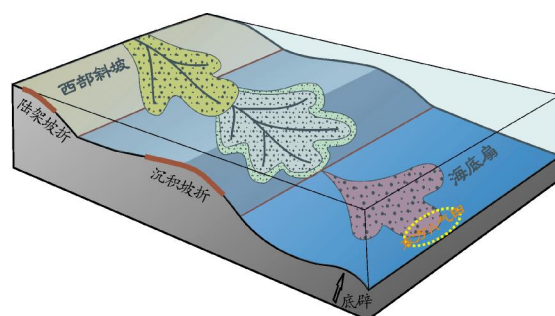


图12 莺歌海盆地东方A气田莺歌海组沉积期
古地貌对沉积的控制

背景下发育了东方A气田典型的重力流沉积。

选择穿过东方A气田的大剖面,拉平层序顶界面T27后观察(图13),T27为一次大的沉降转换面,T27以下地层西厚东薄,反映出以西部红河物源为主^[4,9],而以上地层则东厚西薄,反映出以海南岛物源为主。从T28界面开始,海平面呈现缓慢下降的趋势,莺歌海组进入低位域沉积时期(图2),来自西部的碎屑物首先在陆架坡折处形成低位滑塌体(图12),然后砂体继续向前推进,遭遇二级沉积坡折后形成重力流沉积,并继续向前推进形成盆底扇,地震剖面上莺歌海组二段的杂乱反射表现出快速堆积滑塌的沉积过程(图13)。该沉积时期,底辟的发生使得盆地中央形成了水下地形高地,并在此水下地形高地上形成了东方A气田典型的海底扇外扇浊积席状砂沉积。东方A气田独特的沉积环境是由盆地边缘的坡折背景及底辟的发育所共同决定的。

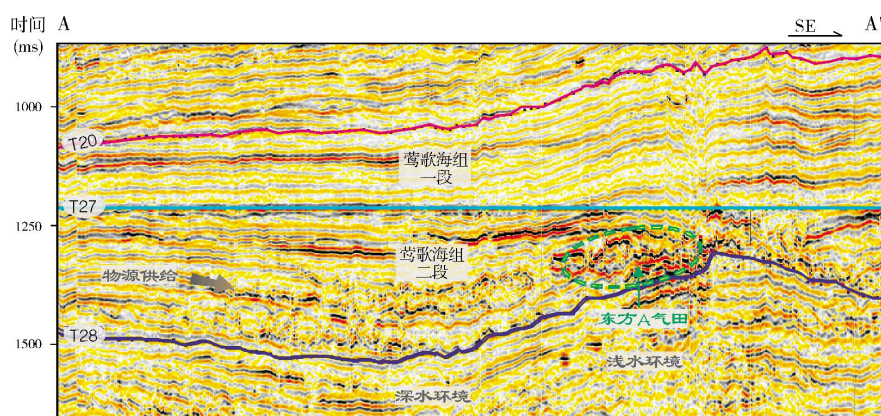


图13 莺歌海盆地东方A气田典型地震剖面(拉平T27)

A—A'剖面位置见图1

5 讨论与结论

东方A气田莺歌海组的沉积相,已开展过多次研

究。1995年,2003年认为莺歌海组二段主要为滨外砂坝、滨外浅滩沉积^[4,10]。2006年的研究延续了该认识,又根据Ⅱ、Ⅲ气组的岩性较Ⅰ气组粗,并结合一些生

物遗迹构造特征等分析,认为Ⅲ_上气组与Ⅱ气组主要以(下)临滨沉积为主,而Ⅰ气组以滨外沉积为主^[2]。2014年在东方A气田开发调整中,结合最新的生产动态及近十年的生产实施所积累的经验和问题,对前人的滨浅海滩坝相沉积之认识进行了较大的修正,认为东方A气田浅层Ⅱ、Ⅲ气组发育低位期形成的海底扇外扇浊积席状砂,Ⅰ气组因其岩性、物性与Ⅱ、Ⅲ气组有较大的区别,推断为海侵期在东方A底辟构造高地形成的滨外滩坝相,这主要基于以下几点证据:(1)岩心观察识别出一些只有重力流情况下才会形成的沉积构造特征,如重荷模、变形构造、包卷层理、泄水构造、鲍马序列,以及最能代表重力流的递变层理的出现;(2)地震资料上一些典型的地震反射特征如侧积体等无法用滩坝相来解释,而受底流改造后的海底扇相则可以作出较好的解释;(3)最新的沉积相图及沉积模式和生产动态吻合度较高,简单的滩坝相模式无法满足后期开发生产的需求;(4)地震及重矿物、母岩资料显示,东方A气田莺歌海组沉积时期受到东部海南岛和西部红河双物源的影响。

本次研究通过对莺歌海盆地东方A气田莺歌海组二段重点气组沉积相的分析,认为:莺歌海组二段发育三种微相类型,分别为浊积席状砂、滨外滩坝及滨外泥;Ⅲ_上气组、Ⅱ气组主要发育浊积席状砂,Ⅱ气组沉积时期开始受底流的冲蚀而形成冲沟,到Ⅱ_上气

组沉积时期冲沟最为发育,Ⅰ气组主要为滨外滩坝沉积;莺歌海组二段的沉积相受到盆地典型的二级坡折带以及沉积时期底辟发生的共同影响,沉积相类型为受到底流改造后的海底扇外扇沉积。这些认识对东方A气田后续的开发调整将可能有重要的指导意义。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 朱筱敏. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2013.
- [4] 吕明. 莺-琼盆地低位沉积模式新探讨[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(4): 221-230.
- [5] 游李伟,彭军,陈果,等. 坡折带理论在油气勘探中的应用[J]. 新疆石油地质, 2015, 26(6): 322-325.
- [6] 高鹏,秦成岗,全志臻. 陆架坡折带的识别及其与油气藏的关系——以番禺低隆起—白云凹陷北坡21Ma陆架坡折带为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(5): 14-17.
- [7] 罗群. 陆相断陷盆地坡折带成因类型及控砂模式——以南堡凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(6): 10-13.
- [8] 王华,陈思,甘华军,等. 浅海背景下大型浊积扇研究进展及堆积机制探讨:以莺歌海盆地黄流组重力流为例[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 21-35.
- [9] 曹立成. 莺歌海—琼东南盆地新近纪物源演化研究:来自稀土元素、重矿物和锆石U-Pb年龄的证据[D]. 武汉:中国地质大学, 2014: 34-35.
- [10] 武凤良. 莺歌海盆地天然气成藏条件探讨[J]. 天然气工业, 1997, 17(6): 6-9.

编辑:董庸

Turbidite Sand: A New View on Sedimentary Facies of Pliocene Zhujiang Member-2 in DF-A Gas Field, Yinggehai Basin

Yue Shaofei, Zhang Hui, Wang Qingshuai, Cheng Tao,
Li Jia, Chen Xiaowu, Qin Sha

Abstract: The depositional model of the Pliocene Yinggehai Formation in DF-A gas field of Yinggehai Basin is controversial. Based on the comprehensive analysis of well core, logging data, and seismic multi-attributes, three sedimentary microfacies developed during Yinggehai Member-2 are turbidite sand, foreshore dam, and offshore mud. Controlled by the slope break of the basin and the occurrence of diapir during the depositional period, there developed sheet-like turbidite sand mainly in III and II gas group which derived from the western sea fan, and developed foreshore dam deposition mainly in I gas group, and developed offshore mud widely in each gas group. This recognition of turbidite sand in Yinggehai Member-2, which changed the pattern of the foreshore dam derived from the eastern Hainan Island, have played an effective role in the later development and adjustment.

Key words: Sedimentary facies; Turbidite sand; Yinggehai Formation; Pliocene; Yinggehai Basin

Yue Shaofei: MSc, Petroleum Geology Engineer. Add: Zhanjiang Branch Company of CNOOC Ltd., Digong Building, No. 2 Nanyou residential district, Zhanjiang, Guangdong, 524057, China

莺歌海盆地东方 A 气田莺歌海组二段沉积新认识: 海底扇浊积席状砂

岳绍飞, 张辉, 王庆帅, 成涛, 李佳, 陈晓武, 秦莎

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司)

摘要 莺歌海盆地东方 A 气田莺歌海组的沉积模式存在争议。综合利用岩心、录井、测井等资料分析沉积相类型, 在此基础上结合地震多属性及单井、连井分析, 研究各气组的沉积演化, 并对东方 A 气田沉积相形成的控制因素进行了总结。莺歌海组二段沉积时期发育三种沉积微相, 分别为浊积席状砂、滨外滩坝及滨外泥。该段Ⅲ、Ⅱ气组主要发育来自西部物源的海底扇外扇浊积席状砂, I 气组主要为滨外滩坝沉积, 滨外泥在各气组均有发育。东方 A 气田的沉积相受控于盆地的二级坡折带及沉积时期底辟的发生。本次研究关于莺歌海组二段浊积席状砂的认识, 改变了以往强调东部海南岛物源的滨外滩坝的模式, 为后期的开发调整起到了积极有效的作用。

关键词 莺歌海盆地; 东方 A 气田; 上新世; 莺歌海组; 沉积相; 浊积席状砂

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 概况

莺歌海盆地底辟构造带位于莺歌海坳陷(图1), 它是由于底辟的发育而形成的一系列背斜构造, 长轴近南北向, 呈雁行式排列。东方 A 气田位于底辟构造带的北端(图1), 为上新世莺歌海组浅层大气田, 产气层段主要分布在莺歌海组二段的 I、Ⅱ上、Ⅱ下、Ⅲ上气组(图2)。盆地上新世以来的裂陷阶段沉积了巨厚的、以海相沉积为主的地层, 其中莺歌海组来自东部海南岛及西部红河物源的大规模前积, 形成了碎屑供给充足的海退层序。盆地内莺歌海组总体表现为以厚层泥岩夹粉细砂岩为主, 但对于东方 A 气田莺歌海组二段Ⅲ上气组—I 气组(图2), 其岩性表现为下部大套粉细砂岩夹薄层泥岩, 而 I 气组为大套泥岩夹薄层粉砂岩, 砂岩、泥岩多受波浪与潮汐影响, 岩性不纯。

对莺歌海盆地东方 A 气田沉积模式的认识一直存在着争议。前人认为盆地莺歌海组为海南岛物源

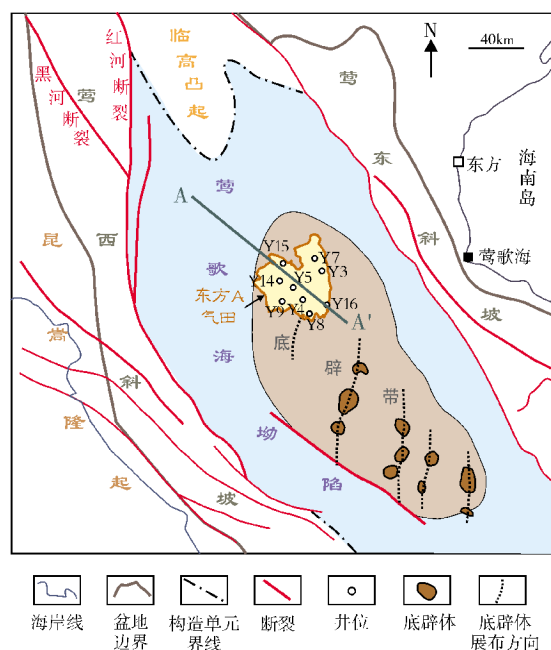


图1 莺歌海盆地东方 A 气田平面位置图

收稿日期: 2015-12-29; 改回日期: 2017-05-03

本文受中国海洋石油总公司科技项目“海上大型砂岩气藏开发中后期综合治理及开发策略研究”(项目编号: CNOOC-KJ125ZDXM06LTD04ZJ12)资助

岳绍飞: 1988 年生, 2014 年毕业于中国地质大学(武汉), 硕士, 工程师, 从事油气田开发地质研究。通讯地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油二区地宫楼; E-mail: yueshf2@cnooc.com.cn

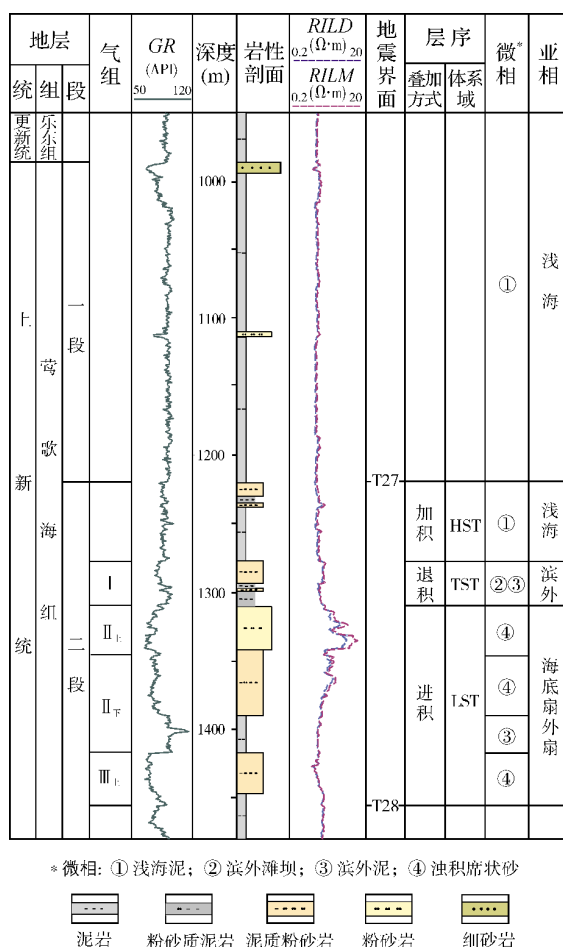


图2 莺歌海盆地东方A气田地层综合柱状图

为主的滨外滩坝相沉积^[1-2],主要依据是:(1)具厚层状细砂岩;(2)Ⅱ气组之下的含砂率大于60%;(3)岩性中可见小型浪成沙纹交错层理;(4)局部可见不同方向的交错层理;(5)普遍含钙;(6)生物扰动十分普遍,虫孔个体中等,密度大;(7)对岩心遗迹化石组合分析,认为莺歌海组沉积时期为偏泥质、安静、水体较深的滨外—陆架环境及(下)临滨环境。在滩坝相沉积模式指导下,2009年、2013年共投入4个井口,钻了11个井眼,但开发效率差。目前仅有4个井眼投入生产,且生产效果不好。开发实施的现状是该气田表现出越来越多的复杂、异常情况:气水分布无规律,砂体互相切割叠置,动用关系复杂。原有的“海南岛物源为主的滨外滩坝”模式难以解释这些异常情况,且对开发调整起不到应有的预测作用。地质家们逐渐意识到之前对沉积环境、搬运机理及水动力条件的认识可能存在着一定的误区,因此在新增大量评价井、开发井的同时,

在对地震工区重新处理的基础上,重新确定东方A气田莺歌海组储层的形成机制就显得极为重要。

本次研究从岩心观察入手,结合测井、录井、地震等资料,重新厘定了东方A气田莺歌海组二段各气组的沉积相特征,提出了东方A气田新的沉积认识,这可为后续的开发调整提供基础依据和指导。

2 沉积相类型

在对岩心、测井、地震及各种分析化验资料进行重新分析的基础上,笔者认为莺歌海组二段的Ⅰ气组发育滨外滩坝相沉积,而Ⅱ、Ⅲ气组主要发育海底扇外扇浊积席状砂沉积(图2)。

2.1 浊积席状砂

浊积席状砂主要发育在莺歌海组二段Ⅱ、Ⅲ上气组沉积时期。浊积席状砂是指海底扇外扇的无水道化^[3]部分,地形平坦,基本无水道发育,沉积物分布宽阔而沉积层较薄。浊积席状砂属于浊流沉积体系,岩性主要为深灰色、灰色细砂岩和粉砂岩,未见粗粒沉积物,主要发育鲍马序列的C、D、E段,另见较为典型的重力流沉积特征(图3,图4a),如块状层理、滑塌变形、重荷模、包卷层理等。

从粒度概率图上看出(图5),Ⅱ上气组主要为“两段式”的特征,且悬浮总体占主要部分,与浊流的紊流支撑相符合,且分选较差,为典型的重力流沉积特征。

2.2 滨外滩坝、滨外泥

滨外滩坝主要发育在莺歌海组二段Ⅰ气组沉积时期(图2),可细分为滨外砂坝和滨外滩砂,其中滨外砂坝厚度较大而平面分布窄,滨外滩砂厚度小而平面分布广。滨外滩坝岩性以灰色粉砂岩和泥质粉砂岩为主,砂体厚度薄且泥质含量高。该亚相发育多期薄层砂体的上下叠置,沉积构造表现出波状层理、复合层理、泥质纹层等,见虫孔、生物扰动构造(图4b),总体上反映水动力较弱且水深变浅的环境。滨外滩坝与下伏Ⅱ、Ⅲ上气组的浊积席状砂沉积区别明显:(1)砂体厚度较薄,上下多期叠置发育;(2)岩性较浊积席状砂岩要细;(3)沉积时期水动力较弱。

滨外泥主要为暗色泥岩,发育水平层理。滨外泥在各个气组均有发育,纵向上三个气组之间各有一套较厚的滨外泥岩将各气组分开,这在东方A气田区为较明显的标志层。

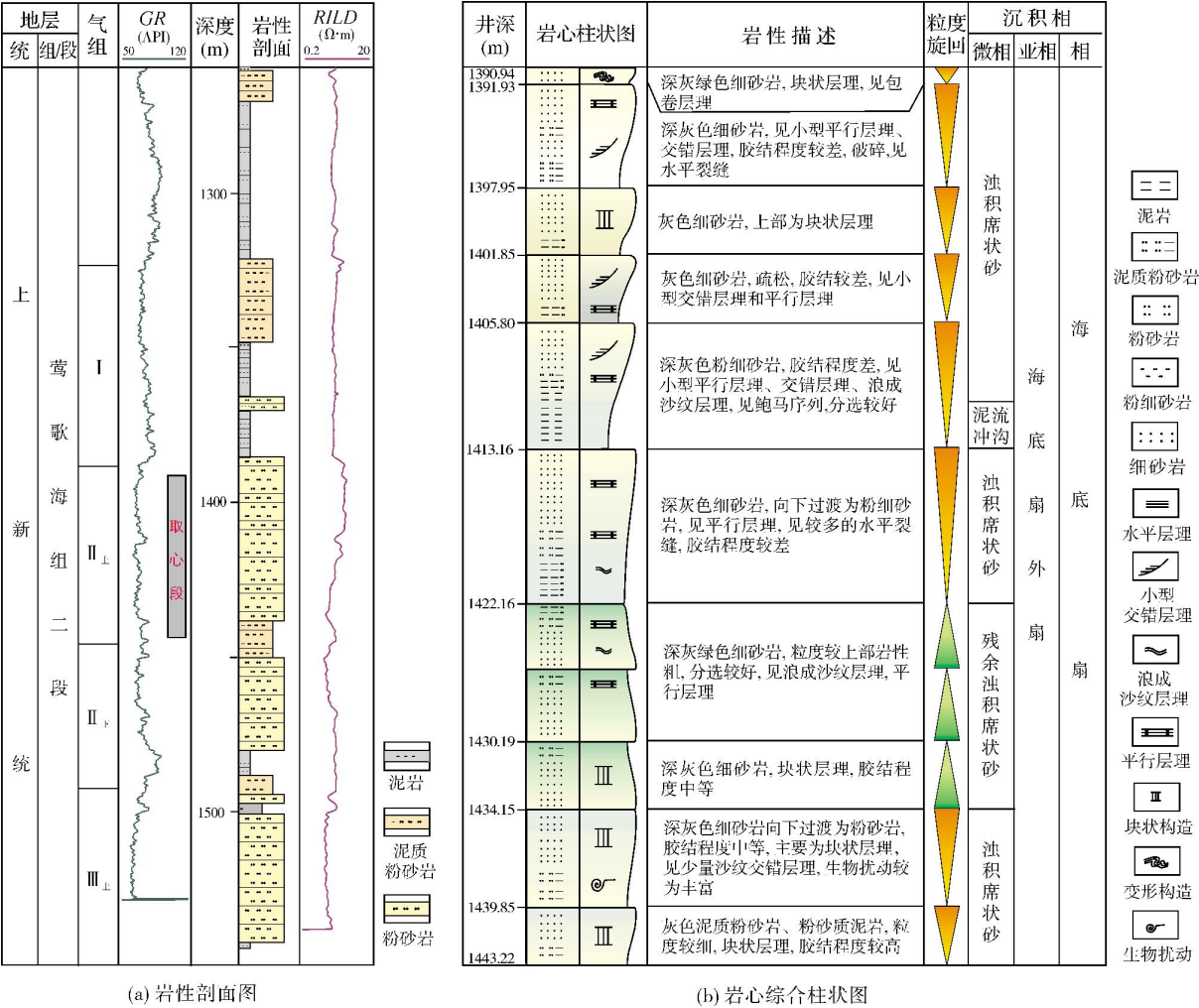


图3 莺歌海盆地东方A气田Y5井岩心沉积相图
钻井位置见图1

3 沉积演化特征

3.1 纵向沉积演化

垂向上,东方A气田各气组主要表现为底部是海相泥岩,中上部是粉细砂岩(图2)。受全球海平面升降变化、构造活动以及物源的共同影响,Ⅱ、Ⅲ气组储层以海底扇外扇浊积席状砂为主(图2),而Ⅰ气组的储层则以滨外滩坝为主,此外在Ⅰ气组之上还发育有大套的海相泥岩,表现为“泥包砂”的宏观特征(图2)。

同时,莺歌海组沉积时期还受到底流的影响,其中Ⅱ气组沉积后期是底流活动最剧烈的时期,表现为:构造高部位的先期沉积几乎完全被剥蚀,其余部位残余的储层也受到了强烈的改造,这种影响由上到

下(Ⅱ_上气组到Ⅲ_上气组)依次减弱。这些特征在垂直物源方向的连井剖面上有较为明显的反映^[1-2](图6)。

3.2 地震属性分析

依据岩心、单井、连井等资料,统计了探井所钻遇气组的含砂率及砂岩厚度数据,并结合地震多属性资料的分析,认为地震总能量与砂岩厚度之间以及地震总振幅与含砂率之间均具有一定的相关性(图7);总能量越高,所对应的砂岩厚度也越大;所钻遇气组的含砂率普遍大于80%,总振幅偏负,呈现波谷优势,且随着含砂率增加,总振幅的绝对值也增大。

以气田区莺歌海组二段Ⅱ_上气组为例,分别提取了总能量、总振幅属性(图8),砂岩储层主要发育区得到较好的反映。

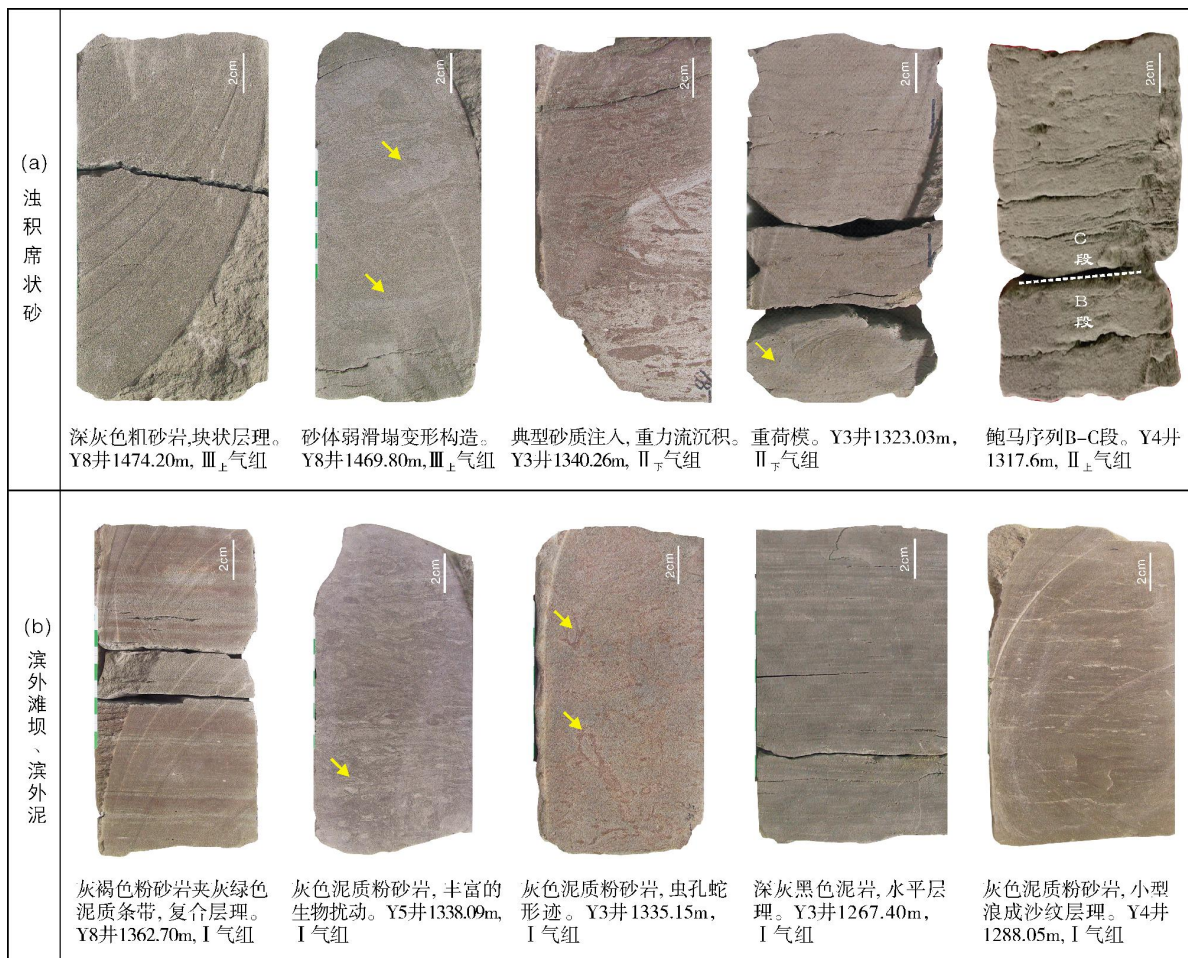
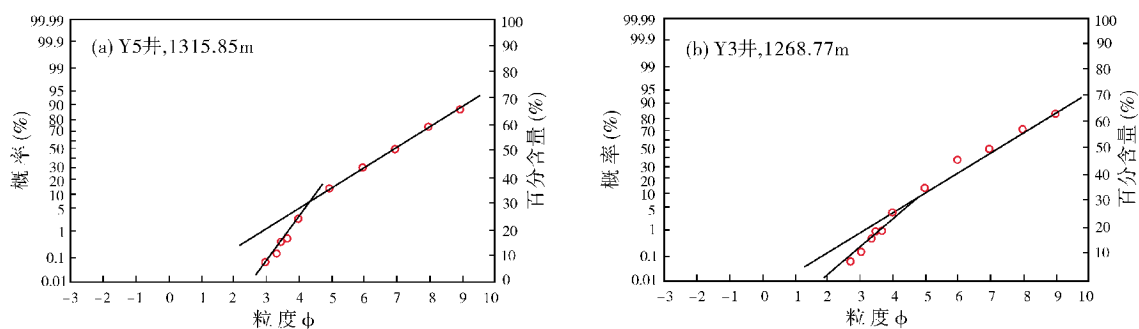


图4 莺歌海盆地东方A气田莺歌海组二段典型岩心沉积特征

钻井位置见图1

图5 莺歌海盆地东方A气田 II_上气组粒度概率累积图

3.3 平面沉积演化

莺歌海组二段沉积时期,受全球海平面升降及构造活动共同控制,莺歌海盆地沉积了一套以半深海—浅海相为主的地层,而东方A气田的储集层段,由于泥底辟活动或古地形高,沉积物相对较粗。

III_上气组沉积时期为T27—T28层序的低位域早期(图2),海平面缓慢下降,由于距海岸线较远,来自莺西斜坡的陆源三角洲前缘砂体在波浪作用下沿陆架坡折滑塌至外陆架非限制性环境中沉积下来。前人研究认为该时期东方A气田所在位置已经形成了一个古构造高地^[4],水深相对较浅,水动力较强,当

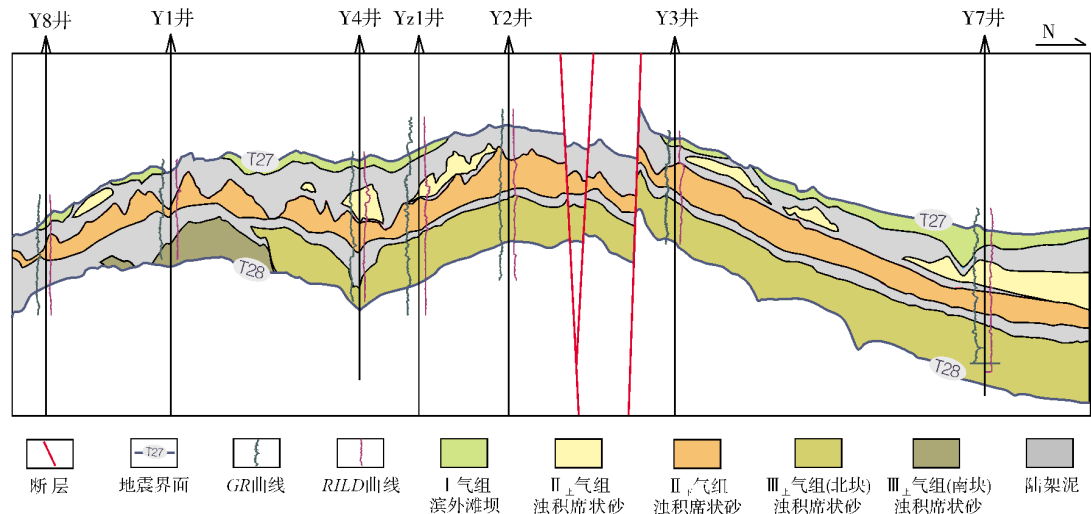


图 6 莺歌海盆地东方 A 气田南北向(垂直物源方向)连井剖面
连井剖面位置见图 9b

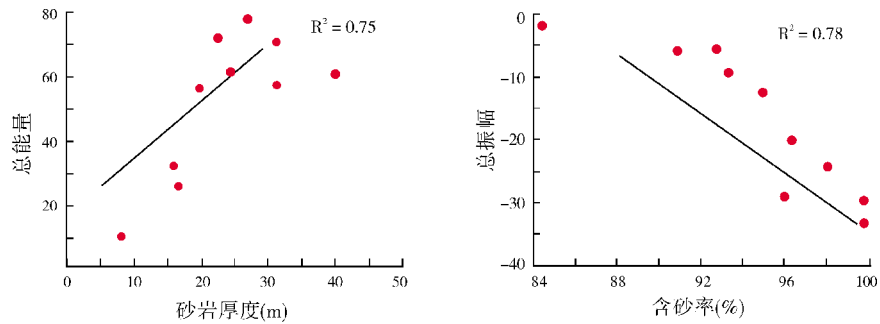


图 7 莺歌海盆地东方 A 气田砂岩发育情况与地震参数相关性统计

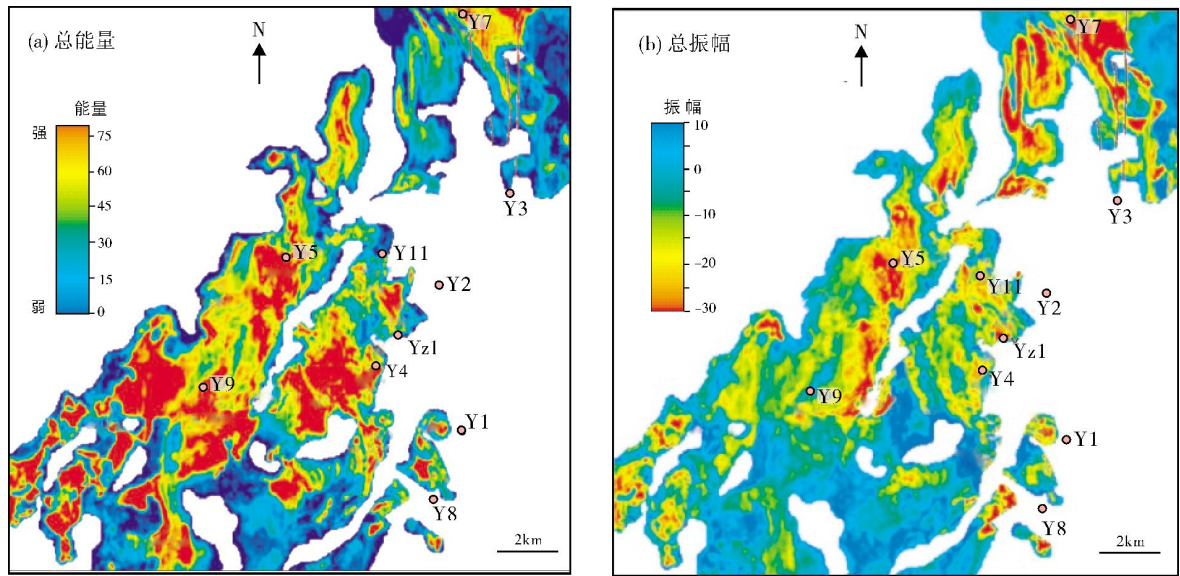


图 8 莺歌海盆地东方 A 气田莺歌海组二段 II 气组地震属性平面图
图中白色区反映泥岩发育区

砂质碎屑物质以高密度浊流的形式搬运至沉降中心后, 在古构造高地区就存在一个由深水到浅水的低密度化沉积过程, 在此过程中, 高密度浊流逐渐转化为低密度浊流甚至牵引流, 在波浪作用下向局部水下高地迁移、富集, 并且堆积下来, 形成大范围连片分布、地层以垂向加积为主的厚层海底扇外扇浊积席状砂体(图9a)。

Ⅱ气组沉积时期为T27—T28层序的低位域时期(图2), 海平面持续下降, 前期的水下高地水体更浅。整体上, Ⅱ气组砂体以继承Ⅲ气组浊积席状砂沉

积为主(图9b, 9c), 并且到Ⅱ_上气组沉积时水体已经相对很浅, 水动力进一步加强, 因此构造高部位局部受到底流的侵蚀。Ⅱ_上气组沉积末期, 海平面已开始缓慢上升, 此时, 底流作用最强, 改造了Ⅱ_上气组沉积(图10, 图6), 形成了剖面上所见到的冲沟和浊积席状砂相伴生的沉积地貌特征, 其中, 底辟隆起区发育的Ⅱ_上气组地层几乎完全被剥蚀^[1], 下伏Ⅱ_下气组和Ⅲ_上气组也受到了不同程度的改造(图6)。Ⅱ气组沉积结束后, 随着海平面的逐渐上升, 底流作用所形成的冲沟为后期细粒沉积物所冲填而逐渐废弃。

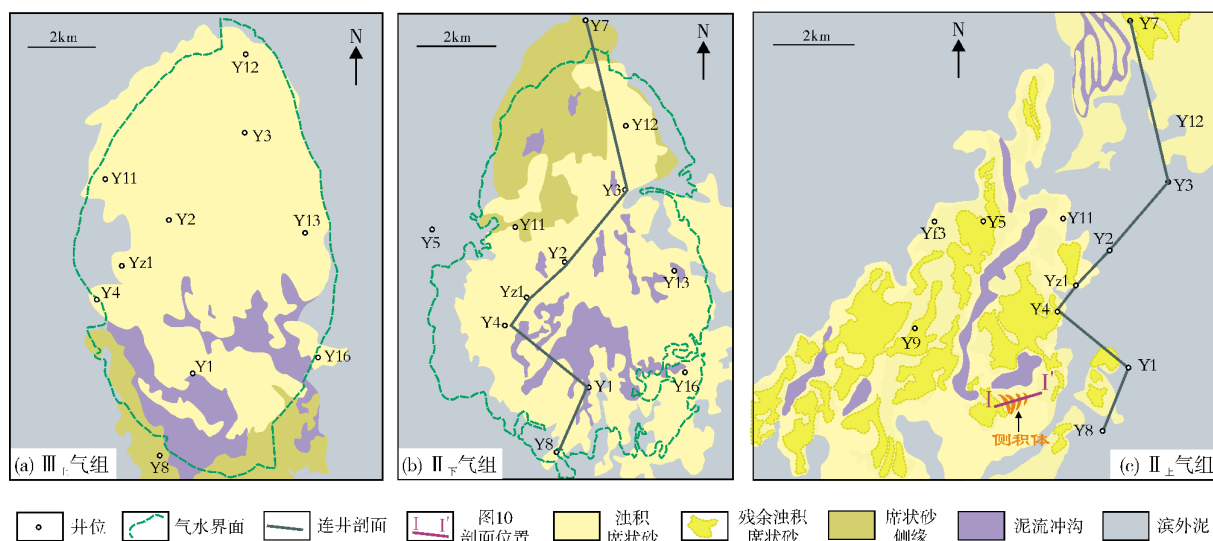


图9 莺歌海盆地东方A气田莺歌海组二段Ⅲ_上气组—Ⅱ_上气组沉积相平面图

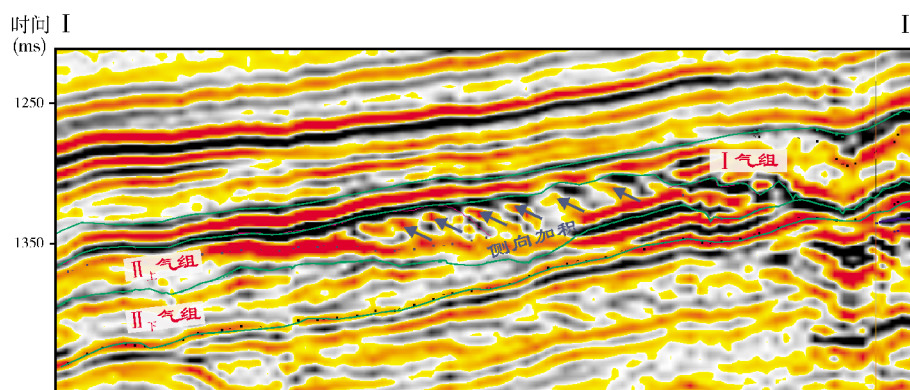


图10 莺歌海盆地东方A气田区典型侧向加积地震剖面

I—I' 剖面位置见图9c

Ⅰ气组沉积初期为T27—T28层序的海侵期(图2), 海平面快速上升, 气田范围内接受了一套外陆架泥岩沉积, 覆盖并保存了Ⅱ_上气组沉积。Ⅰ气组沉积之后为T27—T28层序的高水位期, 受区域构造作用影响, 气田区的物源供给由原来的以西部物源为主转变为以东

部海南岛物源为主, 莺东斜坡发育的浊积扇经过长距离搬运, 抵达莺歌海坳陷的底辟带, 此时泥质含量已较高, 在区域高水位背景下, 随着短周期的海平面升降, 局部发育了滨外滩坝沉积(图11), 只是因此时的水体相对较深, 水动力较弱, 故砂体的规模小, 砂质少。



图11 莺歌海盆地东方A气田Y7井区
莺歌海组二段 I 气组沉积相

4 古地形对沉积的控制

不同类型与成因的古坡折带、古变换带和古沟谷的时空耦合,造成了物源供给系统的差异性,从而造成砂体展布位置、规模、外部形态及内部充填样式的差异性。海平面的周期性升降导致在陆架坡折带两侧(向陆和向海)形成不同的沉积体系组合:滨浅海陆架沉积体系(牵引流为主)和深水陆坡沉积体系(底流为主),深水陆架坡折及其所控制的低位体系域最有利于形成非构造油气藏^[5-7]。莺歌海盆地陆架边缘发育两类坡折带^[8]:近岸的陆架边缘坡折带及靠近盆地中央的沉积坡折带(图12)。在这两级坡折

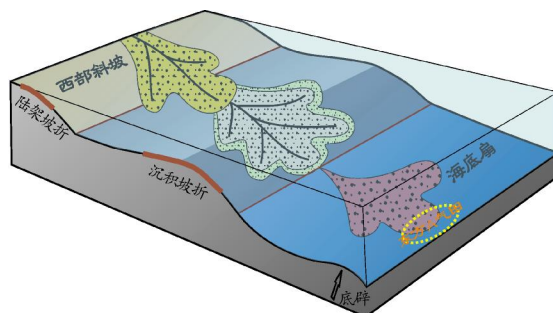


图12 莺歌海盆地东方A气田莺歌海组沉积期
古地貌对沉积的控制

背景下发育了东方A气田典型的重力流沉积。

选择穿过东方A气田的大剖面,拉平层序顶界面T27后观察(图13),T27为一次大的沉降转换面,T27以下地层西厚东薄,反映出以西部红河物源为主^[4,9],而以上地层则东厚西薄,反映出以海南岛物源为主。从T28界面开始,海平面呈现缓慢下降的趋势,莺歌海组进入低位域沉积时期(图2),来自西部的碎屑物首先在陆架坡折处形成低位滑塌体(图12),然后砂体继续向前推进,遭遇二级沉积坡折后形成重力流沉积,并继续向前推进形成盆底扇,地震剖面上莺歌海组二段的杂乱反射表现出快速堆积滑塌的沉积过程(图13)。该沉积时期,底辟的发生使得盆地中央形成了水下地形高地,并在此水下地形高地上形成了东方A气田典型的海底扇外扇浊积席状砂沉积。东方A气田独特的沉积环境是由盆地边缘的坡折背景及底辟的发育所共同决定的。

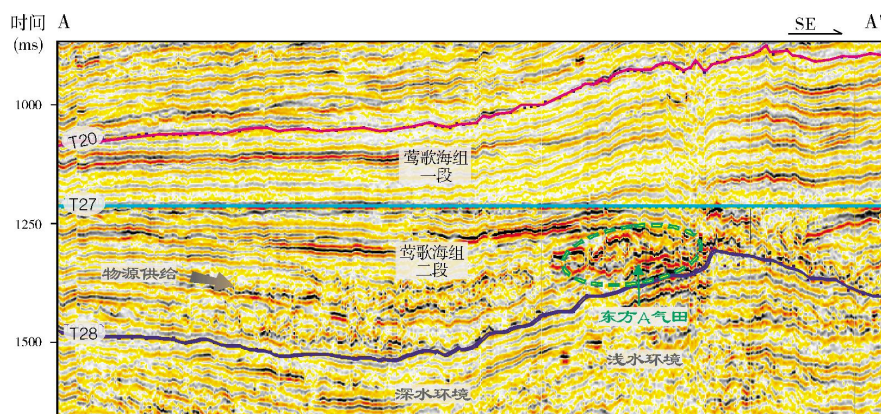


图13 莺歌海盆地东方A气田典型地震剖面(拉平T27)

A—A'剖面位置见图1

5 讨论与结论

东方A气田莺歌海组的沉积相,已开展过多次研

究。1995年,2003年认为莺歌海组二段主要为滨外砂坝、滨外浅滩沉积^[4,10]。2006年的研究延续了该认识,又根据Ⅱ、Ⅲ气组的岩性较Ⅰ气组粗,并结合一些生

物遗迹构造特征等分析,认为Ⅲ_上气组与Ⅱ气组主要以(下)临滨沉积为主,而Ⅰ气组以滨外沉积为主^[2]。2014年在东方A气田开发调整中,结合最新的生产动态及近十年的生产实施所积累的经验和问题,对前人的滨浅海滩坝相沉积之认识进行了较大的修正,认为东方A气田浅层Ⅱ、Ⅲ气组发育低位期形成的海底扇外扇浊积席状砂,Ⅰ气组因其岩性、物性与Ⅱ、Ⅲ气组有较大的区别,推断为海侵期在东方A底辟构造高地形成的滨外滩坝相,这主要基于以下几点证据:(1)岩心观察识别出一些只有重力流情况下才会形成的沉积构造特征,如重荷模、变形构造、包卷层理、泄水构造、鲍马序列,以及最能代表重力流的递变层理的出现;(2)地震资料上一些典型的地震反射特征如侧积体等无法用滩坝相来解释,而受底流改造后的海底扇相则可以作出较好的解释;(3)最新的沉积相图及沉积模式和生产动态吻合度较高,简单的滩坝相模式无法满足后期开发生产的需求;(4)地震及重矿物、母岩资料显示,东方A气田莺歌海组沉积时期受到东部海南岛和西部红河双物源的影响。

本次研究通过对莺歌海盆地东方A气田莺歌海组二段重点气组沉积相的分析,认为:莺歌海组二段发育三种微相类型,分别为浊积席状砂、滨外滩坝及滨外泥;Ⅲ_上气组、Ⅱ气组主要发育浊积席状砂,Ⅱ气组沉积时期开始受底流的冲蚀而形成冲沟,到Ⅱ_上气

组沉积时期冲沟最为发育,Ⅰ气组主要为滨外滩坝沉积;莺歌海组二段的沉积相受到盆地典型的二级坡折带以及沉积时期底辟发生的共同影响,沉积相类型为受到底流改造后的海底扇外扇沉积。这些认识对东方A气田后续的开发调整将可能有重要的指导意义。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 朱筱敏. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2013.
- [4] 吕明. 莺-琼盆地低位沉积模式新探讨[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(4): 221-230.
- [5] 游李伟,彭军,陈果,等. 坡折带理论在油气勘探中的应用[J]. 新疆石油地质, 2015, 26(6): 322-325.
- [6] 高鹏,秦成岗,全志臻. 陆架坡折带的识别及其与油气藏的关系——以番禺低隆起—白云凹陷北坡21Ma陆架坡折带为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(5): 14-17.
- [7] 罗群. 陆相断陷盆地坡折带成因类型及控砂模式——以南堡凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(6): 10-13.
- [8] 王华,陈思,甘华军,等. 浅海背景下大型浊积扇研究进展及堆积机制探讨:以莺歌海盆地黄流组重力流为例[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 21-35.
- [9] 曹立成. 莺歌海—琼东南盆地新近纪物源演化研究:来自稀土元素、重矿物和锆石U-Pb年龄的证据[D]. 武汉:中国地质大学, 2014: 34-35.
- [10] 武凤良. 莺歌海盆地天然气成藏条件探讨[J]. 天然气工业, 1997, 17(6): 6-9.

编辑:董庸

Turbidite Sand: A New View on Sedimentary Facies of Pliocene Zhujiang Member-2 in DF-A Gas Field, Yinggehai Basin

Yue Shaofei, Zhang Hui, Wang Qingshuai, Cheng Tao,
Li Jia, Chen Xiaowu, Qin Sha

Abstract: The depositional model of the Pliocene Yinggehai Formation in DF-A gas field of Yinggehai Basin is controversial. Based on the comprehensive analysis of well core, logging data, and seismic multi-attributes, three sedimentary microfacies developed during Yinggehai Member-2 are turbidite sand, foreshore dam, and offshore mud. Controlled by the slope break of the basin and the occurrence of diapir during the depositional period, there developed sheet-like turbidite sand mainly in III and II gas group which derived from the western sea fan, and developed foreshore dam deposition mainly in I gas group, and developed offshore mud widely in each gas group. This recognition of turbidite sand in Yinggehai Member-2, which changed the pattern of the foreshore dam derived from the eastern Hainan Island, have played an effective role in the later development and adjustment.

Key words: Sedimentary facies; Turbidite sand; Yinggehai Formation; Pliocene; Yinggehai Basin

Yue Shaofei: MSc, Petroleum Geology Engineer. Add: Zhanjiang Branch Company of CNOOC Ltd., Digong Building, No. 2 Nanyou residential district, Zhanjiang, Guangdong, 524057, China