

莺歌海盆地砂质块体搬运沉积及其天然气聚集

张迎朝, 王立锋, 李绪深, 钟泽红, 詹冷萍, 徐涛

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东湛江 524057)

摘要:通过莺歌海盆地 XF13 区三维地震、钻井资料分析, 新识别出上中新统黄流组一段砂质块体搬运沉积体系, 进而研究其沉积模式及优质天然气聚集机制。钻井岩心以砂质碎屑流沉积为主, 发育块状层理、平行层理、突变接触面、泥岩撕裂和变形层等重力流沉积构造; 地震资料上其与围岩差异显著, 呈“削截”接触关系。砂质块体搬运沉积由多期构成, 每期经历“早期侵蚀—充填迁移”和“晚期废弃”2 个沉积阶段, 相应发育近物源砂质碎屑流、块状厚层砂岩朵叶体和远物源泥质浊流、席状砂的沉积构型。构建了外陆架、海侵—高位体系域砂质块体搬运沉积新模式。以 XF13 大气田为例, 从砂质块体搬运沉积、构造—岩性圈闭的形成到输导体系和天然气成藏过程分析, 探讨了优质天然气聚集机制, 认为莺歌海盆地中深部具备形成“优质储集体、高烃类气”天然气聚集的地质条件。

关键词:沉积构型; 砂质块体搬运沉积; 沉积模式; 天然气聚集; 上中新统; 莺歌海盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Sandy mass transport deposit model and its natural gas accumulation in the Yinggehai Basin

Zhang Yingzhao, Wang Lifeng, Li Xushen, Zhong Zehong, Zhan Yeping, Xu Tao

(Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: The sandy mass transport deposit of the first member of the Huangliu Formation in the Upper Miocene was newly recognized using 3D seismic data and drilling data collected from the XF13 area of the Yinggehai Basin. The depositional model and natural gas accumulation mechanism have been investigated. Cores recorded sedimentary characteristics of sandy mass transport deposit very well, developing massive stratifications and parallel stratifications, abrupt contact surfaces, mudstone avulsions, and deformation layers. The sandy mass transport deposit had distinct seismic reflection features compared with those of surrounding rocks. They consisted of multiple periods of sedimentation, and each period experienced early erosion, filling, migration and a late abandonment stage. They developed a double-layer sedimentary architecture, which consisted of massive thick compound lobe sandbody and sheet sandbody, respectively. Each period of sandy mass transport deposit developed sandy debris flow massive thick sandstones with slide-slump movement near provenance, and muddy turbidity current deposits laterally far from the source. A new model with a transgressive-highstand systems tract and outer continent environment was proposed. A case study was made in the XF13 gas field. Through the integrated analyses of sandy mass transport deposit, structural-lithological trap formation, fault/fissure migration pathway and natural gas pooling process, natural gas accumulation mechanism were considered. The central and deep sections of the basin have favorable geologic conditions for gas enrichment and preservation.

Key words: sedimentary architecture; sandy mass transport deposit; deposit model; natural gas accumulation; Upper Miocene; Yinggehai Basin

块体搬运沉积是在达到临界触发条件下, 陆源碎屑沉积物通过滑动、滑塌和碎屑流等重力流作用过程而形成的沉积物^[1-3], 主要发育在陆坡海底峡谷、盆底平原或构造坡折带等。在海相砂质块体搬

运沉积领域, 以 Shanmugam 的研究最为著名。Shanmugam 对地震资料解释识别块体搬运沉积提出质疑^[1,4], 他认为薄层, 如 0.05 ~ 10 m 的砂质块体搬运沉积的剪切面、滑塌褶皱等单元, 是不能通

收稿日期: 2015-04-23; 修改日期: 2016-01-05。

作者简介: 张迎朝 (1971—), 男, 教授级高级工程师, 从事南海油气勘探、科研工作。E-mail: zhangyingzh@cnooc.com.cn。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司“十二五”综合科研项目“南海西部海域低孔低渗油气藏勘探开发关键技术与实践”(CNOOC-KJ125ZDXM07LTD02-ZJ) 和国家“十二五”科技重大专项“南海西部海域富生烃凹陷资源潜力再评价和新区、新领域勘探方向”(2011ZX05023-001-007) 资助。

过地震资料识别的,即使 25~30 m 厚的砂岩也可能包含不同成因的多个层,且井震标定的某一地震相也会存在多种沉积相解释。我们认为,从钻前预测角度,这是一个地质尺度或精度问题,尤其海上勘探开发,钻井少,更需要发挥块体搬运沉积理论优势开展钻前预测。块体搬运沉积地震识别关键在于地震分辨率与实际砂岩厚度。结合钻井和研究区地质认识,利用地震资料,类似其他沉积体系,能够开展块体搬运沉积的识别。本文利用 XF13 区钻井、三维地震资料(地震分辨率约 20 m),通过地震振幅反映砂岩与围岩的明显差异,在莺歌海盆地北部 XF13 区识别出上中新统黄流组砂质块体搬运沉积地震异常体。XF13 区砂质块体搬运沉积具有较明显的地震波响应特征,并通过地震反射波组特征研究了块体搬运沉积过程与沉积期次,其中早期侵蚀—充填迁移阶段的“V 充填型强振幅”地震相代表了块状厚层砂岩,对本区今后勘探开发提供了砂岩储层预测的地震相模版。

规模和几何形态是块体搬运沉积研究和勘探实践的焦点。Shanmugam 认为块体搬运沉积呈“舌状”分布^[1],对浊积扇、海底扇模式提出了质疑,如北大西洋发现过“舌状”分布的碎屑流,北海和南非等地区油气勘探遇到的“非浊积扇”等,认为浊积扇或朵叶体不存在。我国学者在多地找到了大面积、稳定分布的砂质碎屑流沉积^[5-8],如在鄂尔多斯盆地陆相湖盆中心深湖区延长组发现了以砂质碎屑流为主,厚度大、分布广的深湖沉积砂体,为重力流成因的深水扇模式。

块体搬运沉积是目前全球深水领域研究、油气勘探的热点^[1-11]。随着全球深水油气勘探实践深入,国内深水、深层、地层—岩性圈闭等新领域逐步提上日程^[9-20],勘探开发对象由传统的牵引流机制沉积体系转向重力流机制沉积体系^[21]。近些年全球油气勘探实践证明,砂质块体搬运沉积在深水油气勘探开发中的重要性逐渐增强,在北海^[22-24]、墨西哥湾^[3-4]、巴西^[3]、西非^[3]、中国^[5-11]、孟加拉湾^[25]等,报道发现了砂质块体搬运沉积的油气藏。

近年来,南海北部莺歌海盆地中深部上中新统黄流组天然气勘探取得了重大进展,2010 年 XF 区 XF14 井钻探、测试获得成功,标志着在南海砂质块体搬运沉积勘探领域取得重大突破,砂质块体搬运沉积成为重要勘探方向之一。有别于被动大陆边缘盆地经典的陆坡—盆底平原斜坡扇、盆底扇沉积,XF 区块体搬运沉积较为复杂,在层序地层、沉积特征和沉积模式存在不同认识,制约了地质认识与勘

探部署。本文利用研究区 4 300 km² 三维地震、钻井资料,对上中新统黄流组一段(以下简称黄一段)块体搬运沉积的层序地层、沉积特征和沉积模式及控制因素进行研究,并以 XF13 大气田为例,从沉积到成藏过程分析,探讨其天然气聚集机制。

1 区域地质背景

莺歌海盆地位于南海西北部、海南岛以西海域,是一个新生代伸展—走滑富含气盆地(图 1a),盆地沉积了古近系、新近系和第四系,自下而上依次为古近系始新统、渐新统崖城组(尚未钻井揭示)和陵水组、新近系中新统三亚组、梅山组和黄流组、上新统莺歌海组和第四系更新统乐东组。下中新统三亚组、中中新统梅山组浅海泥岩为主力烃源岩,上中新统黄流组、上新统莺歌海组和第四系更新统乐东组发育三角洲、滨海及重力流砂岩储层(图 1b),目前天然气勘探集中在盆地中部中央底辟构造带和南部东斜坡带。

研究认为,21 Ma 以来,莺歌海盆地持续伸展—走滑,发生大幅度构造沉降。XF13 区自中新世以来,经历了多期明显的块体搬运沉积过程。本文重点研究黄一段砂质块体搬运沉积体系及其天然气聚集机制。

2 砂质块体搬运沉积体系与沉积模式

2.1 砂质块体搬运沉积特征

块体搬运包括 3 种主要沉积过程,分别为滑动、滑塌和碎屑流^[1]。滑动是指沉积物作为一个整体沿滑动面移动而沉积物内部不发生形变的运动过程,代表平移剪切移动;滑塌是指沉积物沿上凹滑动面移动,因旋转而造成沉积物内部形变的运动过程,代表旋转剪切运动;碎屑流是一种塑性沉积物流,内部呈线性层流,沉积物整体停止流动,块状固结。

块体搬运沉积具有较明显的地震波响应特征,能够通过地震反射波组特征研究块体搬运沉积过程。研究认为,在莺歌海盆地莺西斜坡带,黄一段发育大面积的砂质块体搬运沉积体系。从沉积过程分析,黄一段沉积期,盆地西缘陆架区高位域富砂三角洲以块体搬运方式二次沉积于古斜坡,块体搬运的滑动作用削蚀了古斜坡区老地层,地震资料上呈“削截”相位接触关系,且越靠近富砂三角洲,削蚀量越大。在沿搬运方向的 SW-NE 向地震剖面上(图 2),块体搬运沉积物削蚀下伏平行—亚平行反射的黄流组二段, T₃¹ 表现为削截界面,其上下

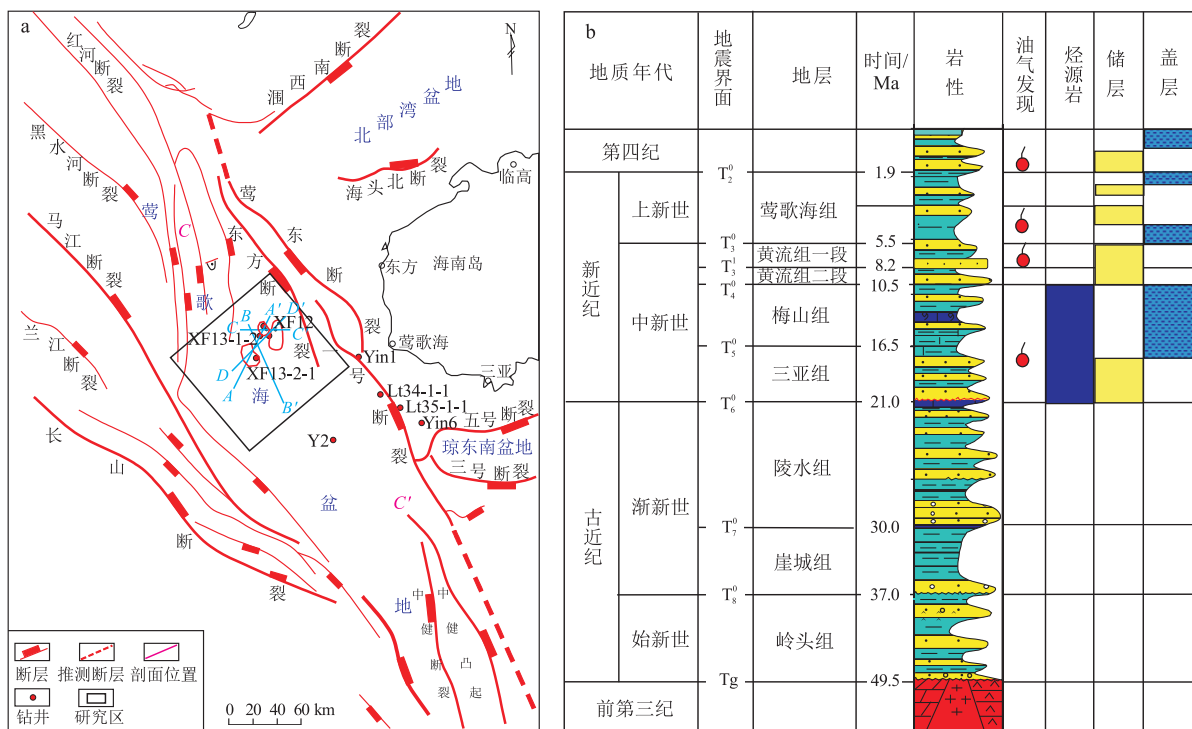


图1 莺歌海盆地构造纲要(a)和地层与生储盖组合(b)

Fig.1 Tectonic units and stratigraphic column of the Yinggehai Basin

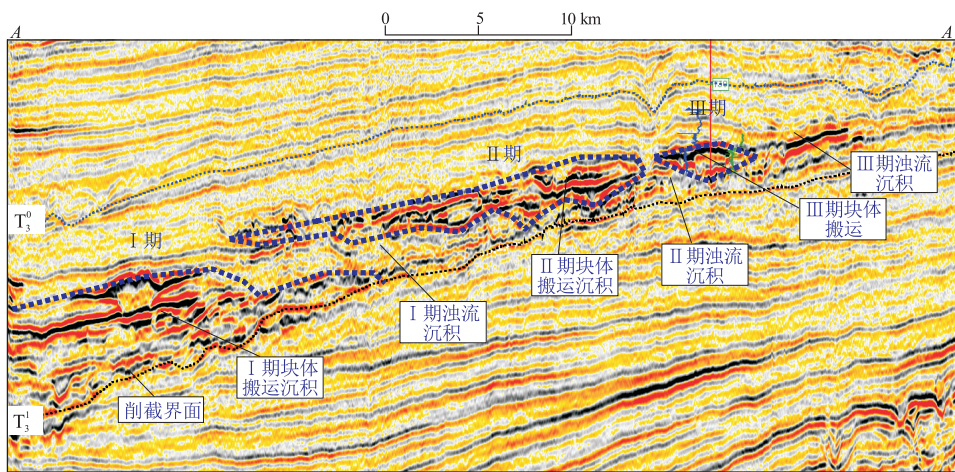


图2 莺歌海盆地 XF13 区黄一段砂质块体搬运沉积地震相

Fig.2 Seismic facies of sandy mass transport deposit of the first member of the Huangliu Formation in XF13 area, Yinggehai Basin

地震反射波组呈“削截”相位接触关系;自 SW 至 NE 方向,发育 3 期块体搬运沉积。至上新统莺歌海组二段沉积期, XF13 区在区域伸展—走滑构造作用下发生一幕底辟活动,黄一段块体搬运沉积体系东缘抬升,改变了其原始沉积地层倾向。平面上,黄一段各期块体搬运沉积包络成扇形外形。因此,地震资料上可清晰识别出与围岩地震响应、地震相位接触关系有显著区别的“外部侵入”块体搬运沉积。

研究区钻遇该块体搬运沉积砂岩朵叶体的 XF13-1-4、XF13-2-2 井等测井及岩心资料表明,

其在测井曲线上以“低自然伽马、低密度和高声波时差”为特征,自然伽马曲线多呈箱状。岩心揭示了黄一段块体搬运沉积发育灰色细砂岩,由于取心针对厚层块状砂岩,岩心呈现砂质碎屑流特征,为一种塑性沉积物流,内部呈线性层流,发育块状层理和平行层理、突变接触面、泥岩撕裂和变形层等鉴别标志(图 3)。

2.2 砂质块体搬运沉积构型与沉积体系

2.2.1 砂质块体搬运沉积构型

块体搬运沉积构型的研究有助于认识块体搬运沉积过程、叠置样式和岩性变化规律,是寻找有

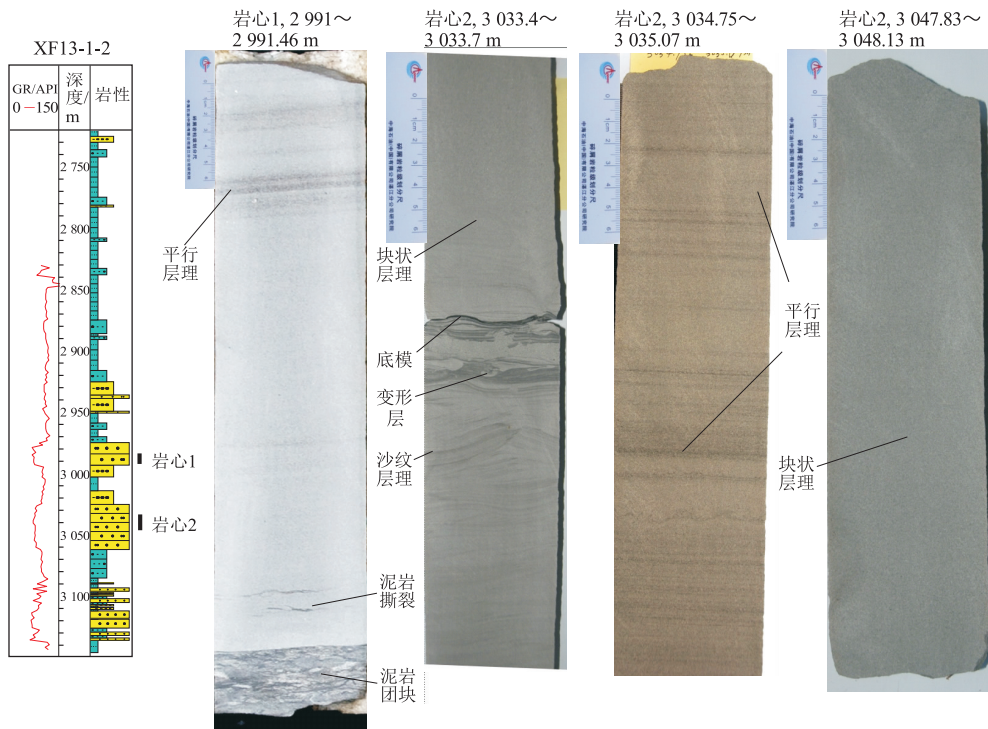


图 3 莺歌海盆地 XF13-1-2 井黄一段砂质块体搬运沉积块状砂岩特征

Fig.3 Massive sandstone characteristics of sandy mass transport deposit of the first member of the Huangliu Formation in well XF13-1-2, Yinggehai Basin

利储集体、岩性圈闭的有效途径。依据钻井、地震资料分析,认为 XF13 区黄一段砂质块体搬运沉积包括 3 期块体搬运过程,每一期纵向经历“早期侵蚀—充填迁移、晚期废弃”2 个沉积阶段及相应发育“块状厚层朵叶砂体、薄层席状砂体”的双层沉积构型,由下而上,砂岩厚度、粒度呈规律变化,砂岩厚度由厚变薄、粒度由粗变细,反映碎屑沉积物浓度由大到小、由碎屑流变为浊流的过程。

(1) 早期侵蚀—充填迁移阶段

多口井钻遇了黄一段早期侵蚀—充填迁移阶段发育块状厚层朵叶砂体,岩心揭示朵叶砂体主要为灰色块状细砂岩,由多个正韵律层—平行层叠合组成,冲刷面较发育,呈波状起伏或平直状,先期碎屑流堆积体的上部往往被后期碎屑流侵蚀改造,显示砂体为多期碎屑流沉积叠置的结果,表现为砂质碎屑流特征,反映了块体搬运动力较强与快速沉积的“冻结式”堆积特征。砂岩单层有效厚度 20~90 m,储集物性较好(图 4a),是 XF13 区块体搬运沉积中最重要的储层、产层。在地震剖面中,朵叶体具有强振幅、连续反射特征,呈“V”型充填样式(图 2)。

(2) 晚期废弃阶段

晚期块体搬运动力变弱,以浊流为主,侵蚀能力弱,主要发育席状砂体,砂地比较早期明显变低,岩性变细。XF13-2-2, XF13-2-3, XF13-2W-2

井等钻遇了晚期废弃阶段发育的薄层席状砂体,以灰色泥质粉细砂岩为主,泥质含量高(图 4b),其中有效储层薄,仅 2.1~7.3 m。

2.2.2 砂质块体搬运沉积体系

在莺歌海盆地莺西斜坡带西部陆架区,黄一段沉积期发育三角洲,为 XF13 区砂质块体搬运沉积的物质来源。黄一段砂质块体搬运沉积体系包含 3 期沉积,每一期经历由砂质碎屑流到浊流的沉积过程,在靠近三角洲区,即块体搬运沉积的近源端,发育厚层块状灰色中细砂岩,为研究区优质砂岩储层;向远物源方向,由砂质碎屑流逐渐演变为浊流,以黏性流体、紊流为主,发育厚层灰色泥岩和薄层灰色泥质粉细砂岩,为低能量、低密度泥质浊流沉积。由于 XF13 区块体搬运沉积可容空间较为开阔,块体搬运沉积体系分布范围较大,约 1 700 km²,有别于琼东南盆地深水区中央峡谷的限定性沉积古地貌^[16-17]。

2.3 砂质块体搬运沉积模式与控制因素

21~8.2 Ma,莺歌海盆地持续伸展—左旋走滑,盆地发生大幅度构造沉降,为形成块体搬运沉积临界触发坡度和沉积可容空间创造了条件。在黄一段块体搬运沉积的厚层块状砂岩上下邻近灰色泥岩中发现了含有丰富的浅层、中层水型浮游有孔虫,水深在 120~200 m;而远洋属种 *Discoaster* 钙质超微

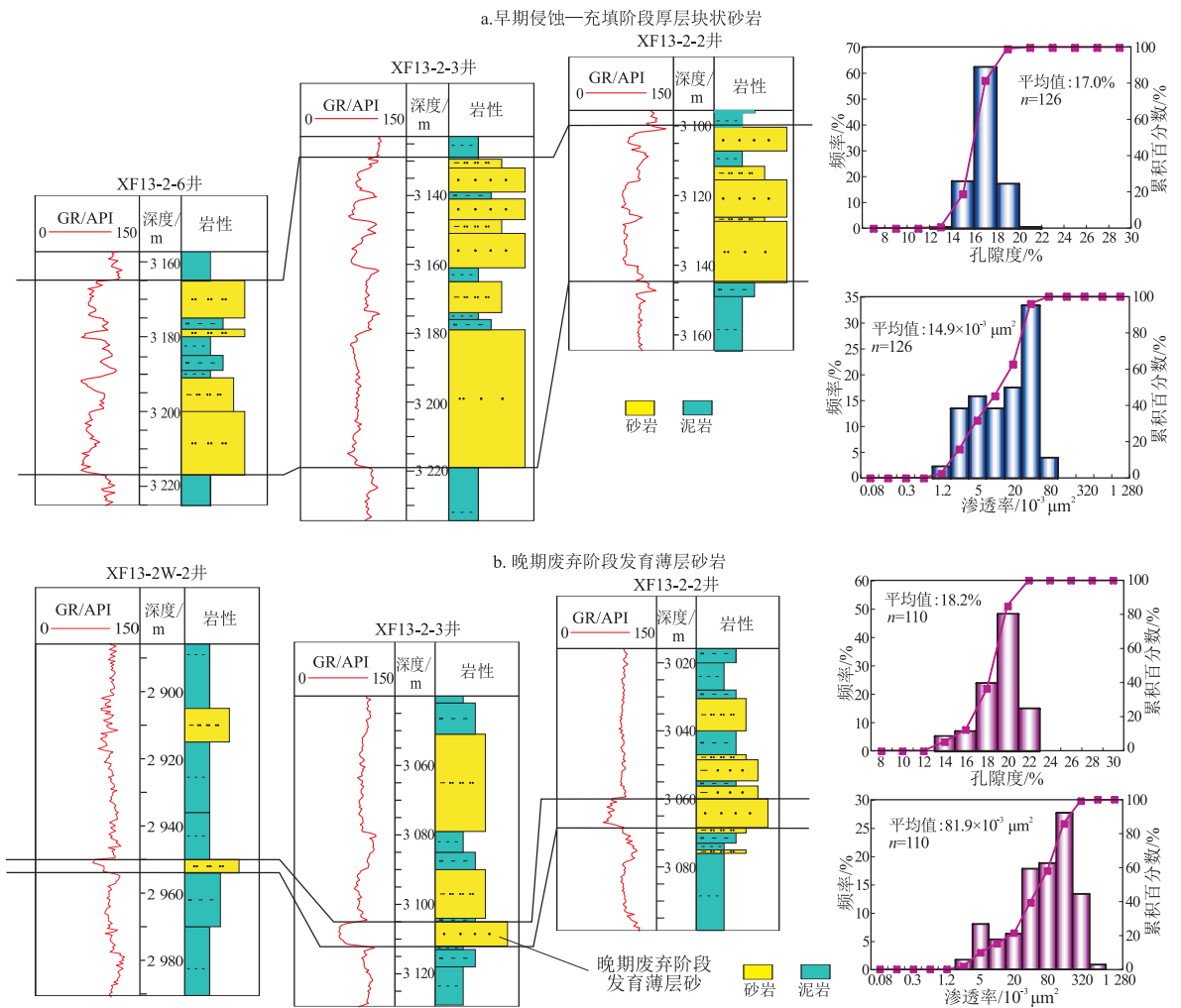


图 4 莺歌海盆地 XF13 区黄一段砂质块体搬运沉积特征

Fig.4 Sandy mass transport deposit of the first member of the Huangliu Formation in XF13 area, Yinggehai Basin

化石的出现,指示了黄一段块体搬运沉积分布于外陆架浅海环境^[26],表明其有别于被动大陆边缘盆地经典的半深海陆坡、深海盆底平原环境。

层序地层学研究表明,在黄一段沉积期, XF13 区东南部为一古洼地,在地震资料上见明显的相位上超于 T₃¹ (黄流组一段底界面) (图 5),古洼地初

始上超面之下充填低位体系域,初始上超面之上为海侵—高位体系域,因此, XF13 区黄一段块体搬运沉积发育于海侵—高位体系域。研究区块体搬运沉积与层序地层构成关系分析说明块体搬运沉积能够发育在陆架浅海环境,不局限于经典被动大陆边缘半深海陆坡—深海盆底平原环境,扩展了寻找、发现和勘探块体搬运沉积的空间。

距今 8.2~5.5 Ma, XF13 区西部的古兰江水系高位体系域三角洲沉积体系推进到莺西斜坡带。沉积模拟实验研究认为坡度大于 0.1° 即可触发重力流^[27]。黄一段沉积期, XF13 区所处莺西斜坡带坡度在 0.4°~0.78°,高位体系域三角洲在莺西斜坡带变得不稳定,三角洲砂岩向东滑动并削蚀下伏地层,自 SW 向 NE 方向形成多期砂岩朵叶体,向东区远端由砂质碎屑流逐渐演化为泥质浊流,形成大规模砂质块体搬运沉积。

通过对古水深、层序构成、沉积构型与沉积体系和古斜坡坡度等综合分析,构建了 XF13 区黄一

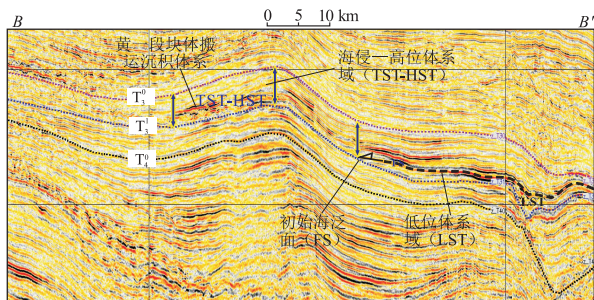


图 5 莺歌海盆地 XF13 区黄一段 (T₃¹-T₃⁰) 层序、体系域与砂质块体搬运沉积关系

Fig.5 Relationship among sequence, systems tract and sandy mass transport deposit of the first member of Huangliu Formation in XF13 area, Yinggehai Basin

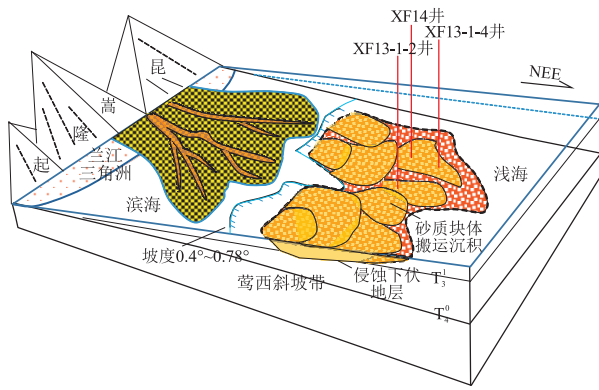


图 6 莺歌海盆地 XF13 区黄一段砂质块体搬运沉积模式
Fig.6 Sandy mass transport deposit mode of the first member of the Huangliu Formation in XF13 area, Yinggehai Basin

段缓坡砂质块体搬运沉积模式(图 6),砂质沉积物来自盆地西缘陆架高位体系域富砂三角洲的再搬运,以砂质碎屑流沉积为主,纵向分期叠置,平面包络成扇,处于外陆架浅海环境,分布于海侵—高位体系域。这改变了以往块体搬运沉积仅分布于被动大陆边缘盆地陆架坡折之下半深海—深海、低位体系域的传统层序地层学认识,丰富了块体搬运沉积模式。

XF13 区黄一段砂质块体搬运沉积体系的形成受砂质来源和古缓坡 2 个因素的控制:(1)陆架区高位体系域富砂三角洲体系为 XF 区黄一段砂质块体搬运沉积提供了砂质来源,高位体系域三角洲体系富砂条件决定了块体搬运沉积的砂岩储层发育程度。(2)XF13 区黄一段沉积期,基底沉降的差异性,造成自物源区到盆地中央存在一定的坡度,为 XF13 区发育块体搬运沉积体系提供了触发条件,本区斜坡带坡度在 $0.4^{\circ} \sim 0.78^{\circ}$,具备块体搬运沉积触发条件。此外,地震资料分析表明,晚中新世以来,XF 区块体搬运沉积十分发育,需要特别注重物质来源岩性条件研究,不是所有块体搬运沉积体系都富砂。

3 砂质块体搬运沉积天然气聚集

层序地层解释及沉积古地貌分析认为,在 XF 底辟构造西区,8.2 Ma 时砂质块体搬运沉积于“斜坡—洼地”古地貌,自西南向东北,发育 3 期砂质块体搬运沉积,XF13 大气田黄一段储层发育在第 II 期砂质块体搬运沉积。该砂质块体搬运沉积富砂,以细砂岩为主,主力块状厚层朵叶砂体的单层厚 20~90 m,现今平均孔隙度达 17%,平均渗透率达 $14.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔中渗型储层,是目前莺歌海盆地中深部揭示最好的储层,为形成大型天然气藏提供了储集空间。

至上新统莺歌海组二段沉积中期(T_2^8 , 3.6 Ma),在区域伸展—左旋走滑构造作用下,莺歌海盆地中央拗陷区派生出近 EW 向伸展构造应力,产生一幕底辟构造活动,使得位于 XF 底辟西翼的 XF13 黄一段砂质块体搬运沉积由沉积期向东倾转变为向西倾,向底辟核部方向抬高,其上部、东缘发育泥岩,对砂质块体搬运沉积砂体起到了有效封盖作用。在底辟构造活动、砂质块体搬运沉积砂体倾向变化及封盖泥岩配置下,形成了构造—岩性圈闭。来自深部中中新统梅山组烃源岩生成的天然气,沿底辟核部及周缘断裂/裂隙运移充注于构造—岩性圈闭。因此,砂质块体搬运沉积期后,3.6 Ma 底辟构造活动对于天然气聚集起到了决定作用,不仅形成了构造—岩性圈闭,且发育断裂/裂隙垂向沟源输导体系。XF13 气藏区源储压力演化研究认为,3.6 Ma 时,黄一段储层埋深约 1 900 m,为常压(根据莺歌海盆地超压成因机制,计算超压开始出现的深度约 2 036 m,代表正常压实作用停止、欠压实开始形成压力封闭的深度),梅山组烃源岩(3.6 Ma 时其底部埋深约 4 900 m)压力系数大于 2.0,源—储压差是天然气沿断裂/裂隙高效运移的动力。

天然气成藏期次分析认为烃类气 3.7 Ma 以来大规模充注,而 CO_2 在 0.4 Ma 以来充注^[26]。3.6 Ma, XF13 构造—岩性圈闭形成,几乎同时,烃类气(3.7 Ma)开始大规模充注, XF13 气田天然气以烃类气为主,天然气碳同位素呈正序列响应(表 1),系同时期、来源于同一套烃源岩、相近成熟度的天然气聚集,体现了 XF13 气田“圈运匹配、高效充注、良好保存”的高烃类气聚集特征。该构造—岩性气田,一方面因构造—岩性圈闭形成早,能够较早地聚集烃类气;另一方面,因圈闭分布于底辟背斜翼部,断裂或裂隙发育程度弱于底辟核部,成藏期后,受断裂或裂隙幕式活动及伴生的热流体影响小,原生天然气保存条件好,早期聚集的烃类气得以保存至今,即底辟翼部较核部更有利于烃类气聚集,具有重要勘探实践指导意义。因此,从砂质块体搬运沉积到构造—岩性圈闭的形成、输导体系的发育、天然气成藏过程分析,认为莺歌海盆地中深部具备形成“优质储集体、高烃类气”天然气聚集的地质条件(图 7)。

中新统梅山组烃源岩分布及生烃史、块体搬运沉积及底辟构造演化等分析表明,莺歌海盆地中中新统梅山组、黄二段、黄一段、上新统莺歌海组均发育砂质块体搬运沉积大规模储层,且与中新统梅山组

表1 莺歌海盆地 XF13 气田天然气组分与碳同位素特征

Table 1 Natural gas composition and carbon isotope characteristics of XF13 gas field, Yinggehai Basin

井号	样品号	样品类型	烃类气/%				非烃气/%		干燥系数	碳同位素 δ ¹³ C/‰							
			C ₁	C ₂₊	C ₂₋₅	C ₆₊	CO ₂	N ₂		C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	CO ₂
1	1	MDT 气样 *	84.96	2.91	2.71	0.2	3.42	8.69	0.97	-33.77	-26.26	-25.53	-26.66	-24.22	-23.72	-22.37	-8.17
1	2	DST 气样 **	81.48	2.67	2.66	0.01	2.48	12.4	0.97	-35.74	-26.22	-25.89	-26.66	-24.75	-23.04	-22.16	-8.77
	3		83.96	4.38	3.55	0.83	3.18	8.48	0.95	-34.97	-26.7	-26.1	-27.35	-23.76	-23.05		-9.05
	4		89.84	1.63	1.24	0.39	1.48	7.04	0.98	-35.53	-26.76	-25.51	-22.76				-17.35
2	5	MDT 气样	84.21	2.8	2.79	0.01	2.27	10.71	0.97	-30.41	-26.02	-25.35	-27.25	-24.18	-22.78	-24.47	-10.7
3	6		81.264	2.235	2.23	0.005	2.169	13.933	0.97	-35.41	-25.19	-25.27	-26.71	-24.53	-23.06	-23.22	-7.16
	7		81.039	1.142	1.141	0.001	1.647	15.497	0.99	-35.53	-25.26	-24.9	-26.19	-23.69	-22.36	-22.54	-15.11

注:空白表示因含量过低未取得数据; * MDT:模块地层动态测试; ** DST:钻杆测试。

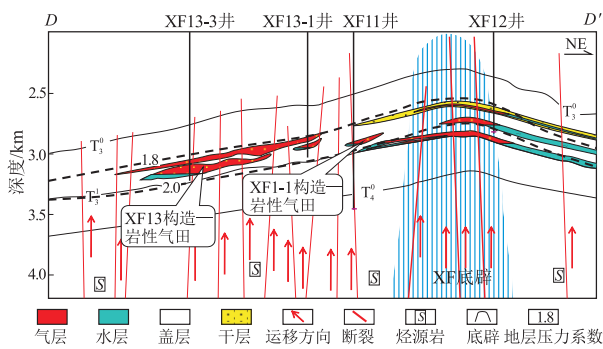


图7 莺歌海盆地 XF13 黄一段砂质块体搬运沉积天然气聚集模式

Fig.7 Natural gas accumulation model of sandy mass transport deposit of the first member of the Huangliu Formation in XF13 gas field, Yinggehai Basin

烃源岩生烃史、底辟构造演化配置良好,其中上新统莺歌海组、中新统黄一段已发现大气田,中新统梅山组、黄二段具备大型天然气聚集条件,是重要的天然气勘探开发新领域。

4 结论

(1)XF13 区黄一段岩心以块状砂质碎屑流沉积为主,发育块状层理和平行层理、突变接触面、泥岩撕裂和变形层等重力流成因沉积构造。地震资料上可识别与围岩地震响应有显著差异、呈“削截”地震相位接触关系的块体搬运地震沉积学特征。

(2)砂质块体搬运沉积由多期构成,每期经历早期侵蚀—充填迁移和晚期废弃 2 个沉积阶段及相对应发育近物源砂质碎屑流、块状厚层砂岩朵叶体和远物源泥质浊流、席状砂的沉积构型。

(3)构建了 XF13 区黄一段外陆架浅海、海侵—高位体系域砂质块体搬运沉积新模式,其受控于砂质来源和古缓坡 2 大因素,有别于传统的被动大陆边缘盆地经典的半深海陆坡—深海盆底平原

块体搬运沉积模式。

(4)从砂质块体搬运沉积到构造—岩性圈闭的形成、输导体系的发育、天然气成藏过程分析,探讨了其天然气聚集特征,认为莺歌海盆地中深部具备形成“优质储集体、高烃类气”天然气聚集的地质条件。

参考文献:

[1] Shanmugam G.深水砂岩新论:成因、识别、触发机制与储层性质[M].张志杰,杨帆,译.北京:石油工业出版社,2013.
Shanmugam G.New perspectives on deep-water sandstones; Origin, recognition, initiation, and reservoir quality[M].Zhang Zhijie, Yang Fan, Trans.Beijing:Petroleum Industry Press, 2013.

[2] Shanmugam G.深水砂体成因研究新进展[J].石油勘探与开发, 2013, 40(3): 294-301.
Shanmugam G.New perspectives on deep-water sandstones; Implications[J].Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 294-301.

[3] Shanmugam G.Deep-water processes and facies models; Implications for sandstone petroleum reservoirs[M].Amsterdam:Elsevier, 2006.

[4] Shanmugam G.New perspectives on deep-water sandstones; Origin, recognition, initiation, and reservoir quality[M].Amsterdam: Elsevier, 2012.

[5] Li Xiangbo, Chen Qilin, Liu Huaqing, et al.Features of sandy debris flows of the Yanchang Formation in the Ordos Basin and its oil and gas exploration significance [J]. Acta Geologica Sinica; English Edition, 2011, 85(5): 1187-1202.

[6] 任小军, 于兴河, 李胜利, 等. 坳陷湖盆缓坡重力流成因储集层沉积特征及发育条件; 以准噶尔盆地腹部石南 31 井区为例[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 303-305.
Ren Xiaojun, Yu Xinghe, Li Shengli, et al.Sedimentary characteristics and developing conditions of gravity flow-genetic reservoirs in ramp margins of depression-lacustrine basin; An example from wellblock Shinan-31 in hinterland of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(3): 303-305.

[7] 李相博, 刘化清, 完颜容, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组砂质碎屑流储集体的首次发现[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 19-21.
Li Xiangbo, Liu Huaqing, Wanyan Rong, et al.First discovery of the sandy debris flow from the Triassic Yanchang Formation,

- Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(4): 19-21.
- [8] 李相博, 刘化清, 陈启林, 等. 大型坳陷湖盆沉积坡折带特征及其对砂体与油气的控制作用: 以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 717-729.
Li Xiangbo, Liu Huaqing, Chen Qilin, et al. Characteristics of slope break belt in large depression lacustrine basin and its controlling effect on sandbody and petroleum: Taking the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 717-729.
- [9] 何云龙, 解习农, 陆永潮, 等. 琼东南盆地深水块体流构成及其沉积特征[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2011, 36(5): 905-913.
He Yunlong, Xie Xinong, Lu Yongchao, et al. Architecture and characteristics of Mass Transport Deposits (MTDs) in Qiongdongnan Basin in Northern South China Sea[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 905-913.
- [10] 李冬, 王英民, 王永凤, 等. 块状搬运复合体的识别及其油气勘探意义: 以琼东南盆地中央峡谷区为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(3): 58-63.
Li Dong, Wang Yingmin, Wang Yongfeng, et al. Identification of mass transport complexes and their implications for hydrocarbon exploration: An example from the Central Canyon area in southeastern Hainan Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2011, 31(3): 58-63.
- [11] 王大伟, 吴时国, 吕福亮, 等. 南海深水块体搬运沉积体系及其油气勘探意义[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(5): 14-19.
Wang Dawei, Wu Shiguo, Lü Fuliang, et al. Mass transport deposits and its significance for oil and gas exploration in deep-water regions of South China Sea[J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35(5): 14-19.
- [12] 翟光明, 王世洪, 何文渊. 近十年全球油气勘探热点趋向与启示[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊1): 14-19.
Zhai Guangming, Wang Shihong, He Wenyuan. Hotspot trend and enlightenment of global ten-year hydrocarbon exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S1): 14-19.
- [13] 陈秀艳, 师晶, 徐杰. 渤海湾盆地东辛油田沙三中亚段重力流沉积砂体类型及含油性[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 594-601.
Chen Xiuyan, Shi Jing, Xu Jie. Type sand oil potential of gravity flow sandbodies in the middle Es₃ of Dongxin Oilfield, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 594-601.
- [14] 杨红君, 郭书生, 刘博, 等. 莺歌海盆地 SE 区上中新统重力流与内波内潮汐沉积新认识[J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 626-633.
Yang Hongjun, Guo Shusheng, Liu Bo, et al. Gravity flow and internal wave and internal tide deposits in Upper Miocene of SE area, Yinggehai Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 626-633.
- [15] 王旭丽, 周江羽, 马良, 等. 伊通盆地岔路河断陷重力流沉积特征及油气勘探意义[J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 26-31.
Wang Xuli, Zhou Jiangyu, Ma Liang, et al. Gravity flow sedimentary characteristics and the significance of petroleum exploration in the Chaluhe Fault Depression, the Yitong Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(1): 26-31.
- [16] 王振峰. 深水重要油气储层: 琼东南盆地中央峡谷体系[J]. 沉积学报, 2012, 30(4): 646-653.
Wang Zhenfeng. Important deepwater hydrocarbon reservoirs: The Central Canyon system in the Qiongdongnan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(4): 646-653.
- [17] 许怀智, 蔡东升, 孙志鹏, 等. 琼东南盆地中央峡谷沉积充填特征及油气地质意义[J]. 地质学报, 2012, 86(4): 641-650.
Xu Huaizhi, Cai Dongsheng, Sun Zhipeng, et al. Filling characteristics of central submarine canyon of Qiongdongnan Basin and its significance of petroleum geology[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(4): 641-650.
- [18] 刘军, 庞雄, 颜承志, 等. 南海北部陆坡白云深水区深水沉积结构要素[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(4): 992-998.
Liu Jun, Pang Xiong, Yan Chengzhi, et al. Deepwater depositional elements in Baiyun deepwater area of the northern continental slope, south China Sea[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011, 41(4): 992-998.
- [19] Gong Chenglin, Wang Yingmin, Zhu Weilin, et al. The central submarine canyon in the Qiongdongnan Basin, northwestern South China Sea: Architecture, sequence stratigraphy, and depositional processes[J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 28(9): 1690-1702.
- [20] 李冬, 王英民, 王永凤, 等. 琼东南盆地中央峡谷深水天然堤—溢岸沉积[J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 689-694.
Li Dong, Wang Yingmin, Wang Yongfeng, et al. The sedimentary and foreground of prospect for levee-overbank in Central Canyon, Qiongdongnan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(4): 689-694.
- [21] 李存磊, 任伟伟, 唐明明. 流体性质转换机制在重力流沉积体系分析中应用初探[J]. 地质论评, 2012, 58(2): 285-296.
Li Cunlei, Ren Weiwei, Tang Mingming. Preliminary study on gravity flow depositional system based on fluid properties conversion theory[J]. Geological Review, 2012, 58(2): 285-296.
- [22] Shanmugam G, Bloch R B, Mitchell S M, et al. Basin-floor fans in the North Sea: Sequence stratigraphic models vs. sedimentary facies[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(4): 477-512.
- [23] Purvis K, Kao J, Flanagan K, et al. Complex reservoir geometries in a deep water elastic sequence, Gryphon Field, UKCS: Injection structures, geological modeling and reservoir simulation[J]. Marine and Petroleum Geology, 2002, 19(2): 161-179.
- [24] Duranti D, Hurst A. Fluidization and injection in the deep-water sandstones of the Eocene Alba Formation (UK North Sea)[J]. Sedimentology, 2004, 51(3): 503-529.
- [25] Shanmugam G, Shrivastava S K, Das B. Sandy debrites and tidalites of Pliocene reservoir sands in upper-slope canyon environments, offshore Krishna-Godavari Basin (India): Implications[J]. Journal of Sedimentary Research, 2009, 79(9): 736-756.
- [26] 谢玉洪, 张迎朝, 李绪深, 等. 莺歌海盆地高温超压气藏控藏要素与成藏模式[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 601-609.
Xie Yuhong, Zhang Yingzhao, Li Xushen, et al. Main controlling factors and formation models of natural gas reservoirs with high-temperature and overpressure in Yinggehai Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(4): 601-609.
- [27] 王颖, 王晓州, 王英民, 等. 沉积物理模拟实验在确定重力流临界坡度中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(4): 463-468.
Wang Ying, Wang Xiaozhou, Wang Yingmin, et al. Determination of the gravity flow critical gradient using sedimentary simulation experiment[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2010, 37(4): 463-468.