

引用: 郭书生, 廖高龙, 梁豪, 等. 琼东南盆地 BD21 井深水区天然气勘探重大突破及意义 [J]. 中国石油勘探, 2021,26(5):49-59.

Guo Shusheng, Liao Gaolong, Liang Hao, et al. Major breakthrough and significance of deep-water gas exploration in Well BD21 in Qiongdongnan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(5):49-59.

# 琼东南盆地 BD21 井深水区天然气勘探重大突破及意义

郭书生 廖高龙 梁豪 彭志春 王世越

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司)

**摘要:** 琼东南盆地深水区油气资源丰富, 前期已在深水西区乐东—陵水凹陷发现超千亿立方米大气田, 但深水东区宝岛—长昌凹陷由于储层埋藏深、物性差, 成藏地质条件认识不深入, 导致深水东区勘探一直未获突破。近期部署在宝岛凹陷北部断阶带的风险探井 BD21 井在陵水组三段试获日产凝析油 200.2m<sup>3</sup>、日产气 73.12×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 的高产油气流, 实现了 30 多年来在深水东区勘探的首次重大突破。基于 BD21 井钻探成果, 系统分析了宝岛凹陷北部断阶带油气成藏地质条件和富集规律。研究表明, 宝岛凹陷发育崖城组规模烃源岩, 成熟度高、生烃能力强; 受神狐隆起控制, 陵水组沉积期北部断阶带发育优质辫状河三角洲前缘储集体, 储层厚度大、物性好; 两期油气充注时期断裂活动性弱, 构造演化与供烃时机匹配, 储层和沟源断裂形成垂向+短侧向高效油气输导体系; 区域性盖层覆盖了成藏系统内油气生成—运移—聚集全空间范围, 油气运移输导封闭条件好。宝岛凹陷北部断阶带是有利的勘探方向, 展现了深水斜坡区构造—岩性油气藏规模勘探潜力。

**关键词:** 琼东南盆地; 宝岛凹陷; 深水东区; 陵水组; 成藏条件; 重大突破

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2021.05.005

## Major breakthrough and significance of deep-water gas exploration in Well BD21 in Qiongdongnan Basin

Guo Shusheng, Liao Gaolong, Liang Hao, Peng Zhichun, Wang Shiyue

(CNOOC Zhanjiang Branch Company)

**Abstract:** The deep-water area of Qiongdongnan Basin has abundant oil and gas resources. A giant gas field with resources of over 100 billion cubic meters has been discovered in Ledong-Lingshui Sag in the western deep-water area. While no breakthrough has been made in Baodao-Changchang Sag in the eastern deep-water area due to the great burial depth, poor reservoir physical properties and poor understanding of hydrocarbon accumulation conditions. Recently, a risk exploration Well BD21, located at the northern fault terrace zone in Baodao Sag, obtained high-yield condensate oil and gas production of 200.2m<sup>3</sup>/d and 73.12×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d in the 3<sup>rd</sup> member of Lingshui Formation, which was a remarkable breakthrough in the eastern deep-water area from more than 30 years. Based on the drilling results of Well BD21, geological conditions and enrichment law of hydrocarbon accumulation are systematically summarized in the northern fault terrace zone in Baodao Sag. Study results show that a large-scale source rock of Yacheng Formation is developed with high maturity and strong capacity of hydrocarbon generation. The fault activity was weak during the two stages of hydrocarbon charging, and the tectonic evolution matched well with the timing of hydrocarbon supply. The high-efficiency hydrocarbon migration pathways are formed by the combination of reservoir and faults which connect with source rock in both vertical and short-distance lateral directions. The regional caprock covers the whole spatial range of hydrocarbon generation, migration and accumulation, providing good sealing capacity. The northern fault terrace zone is favorable exploration target in Baodao Sag, which shows great potential of large-scale structural-lithologic oil and gas reservoirs in deep-water slope zone.

**Key words:** Qiongdongnan Basin, Baodao Sag, eastern deep-water area, Lingshui Formation, accumulation condition, major breakthrough

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05026-002)。

第一作者简介: 郭书生(1975-), 男, 河南洛阳人, 1997年毕业于石油大学(华东)矿场地球物理专业, 高级工程师, 作业经理, 主要从事地质作业管理及技术研究工作。地址: 海南省海口市秀英区长滨三路8号恒制国际大厦, 邮政编码: 570100。E-mail: guoshusheng@cnooc.com.cn

收稿日期: 2021-07-29; 修改日期: 2021-09-10

## 0 引言

琼东南盆地深水油气资源丰富<sup>[1-4]</sup>, 是中国深水天然气增储上产的主力区, 兼具经济和战略意义<sup>[5-7]</sup>。目前已在深水西区乐东—陵水凹陷黄流组和莺歌海组发现了超千亿立方米大气田<sup>[8-10]</sup>, 而在深水东区宝岛—长昌凹陷却一直未获突破。前期勘探在宝岛凹陷北部断阶带宝岛 13 区和宝岛 19 区梅山组、陵水组及崖城组揭示多套气层, 发现多个含气构造, 但储层埋深大、物性差, 且深大断裂沟通下部非烃类气体, 多数井钻遇高含  $\text{CO}_2$  储层, 深水东区宝岛凹陷勘探方向不明确<sup>[11-12]</sup>。前人研究认为, 位于深水东区的宝岛凹陷具有较好的生烃潜力, 具备形成大中型油气藏的地质条件<sup>[13-17]</sup>, 是南海西部万亿立方米大气区战略实施的重点领域。利用宝岛地区三维地震资料, 优选风险探井 BD21 井, 2021 年该井成功钻探,

实现了深水油气勘探的战略转移, 对整个深水东区油气勘探具有重大意义。本文通过系统分析深水东区宝岛凹陷北部断阶带成藏特征分析, 从而指导扩大深水东区的储量规模, 为带动宝岛凹陷北坡建产提供理论支撑。

## 1 区域地质背景

宝岛凹陷北部断阶带位于南海北部大陆架琼东南盆地深水东区东部, 地处琼东南盆地与珠江口盆地结合部, 北接神狐隆起, 西侧与松涛凸起相连 (图 1)。宝岛凹陷自下而上主要发育了始新统 ( $T_{10}^0-T_8^0$ )、崖城组 ( $T_8^0-T_7^0$ )、陵水组 ( $T_7^0-T_6^0$ )、三亚组 ( $T_6^0-T_5^0$ )、梅山组 ( $T_5^0-T_4^0$ )、黄流组 ( $T_4^0-T_3^0$ )、莺歌海组 ( $T_3^0-T_2^0$ ) 和乐东组 ( $T_2^0-T_1^0$ ) (图 2), 区域内发育多套优质烃源岩, 地质成藏条件优越。

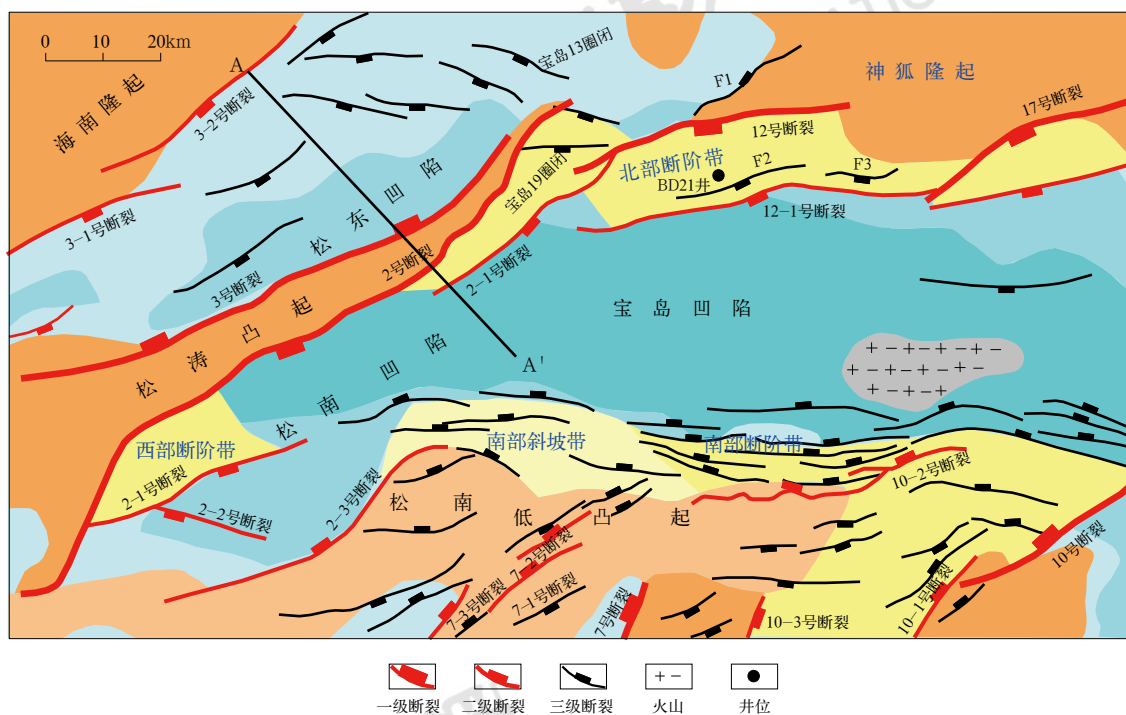


图 1 宝岛凹陷构造位置图

Fig.1 Structural location of Baodao Sag

琼东南盆地主要经历了断陷期 ( $T_{10}^0-T_8^0$ )、坳断期 ( $T_8^0-T_6^0$ )、断坳期 ( $T_6^0-T_5^0$ ) 和坳陷期 ( $T_5^0$  至今) 共 4 个构造沉积演化阶段<sup>[18]</sup>。始新统岭头组 and 渐新统崖城组沉积时期, 盆地进入断陷期和坳断期演化阶段, 晚白垩世以来特提斯构造域内的印藏碰撞此时到达高潮, 对华南板块产生北东向的挤压

应力, 进而促使华南板块北西—南东向拉张, 松南—宝岛凹陷主要为湖泊相沉积, 仅发育小规模三角洲—湖泊沉积体系。随着印支地块南东方向的旋转挤出, 对南海陆缘产生南东向的牵引, 从而导致南海大陆边缘的张裂和南海海盆的第一次扩张, 琼东南盆地发生海侵, 宝岛凹陷接受海陆过渡相及滨

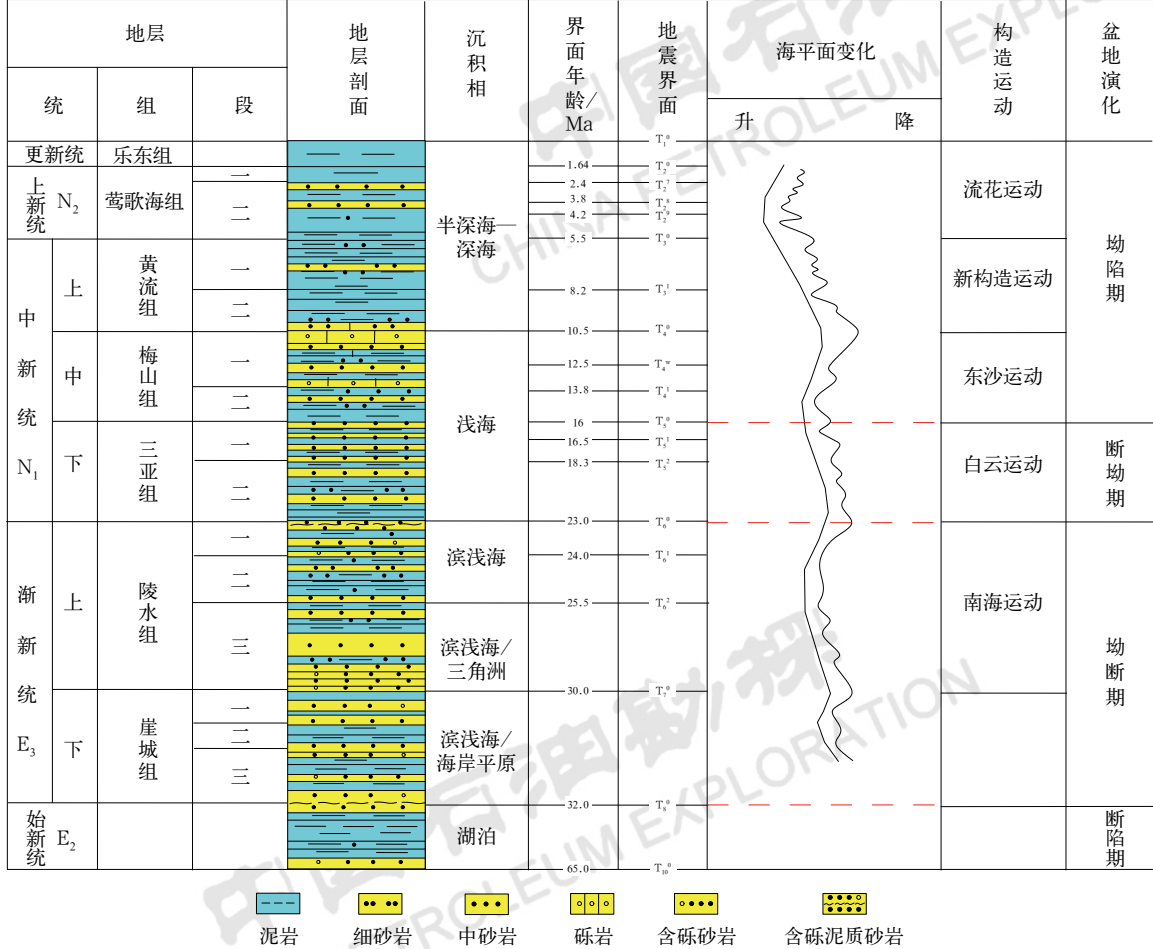


图 2 琼东南盆地宝岛凹陷地层综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of Baodao Sag in Qiongdongnan Basin

浅海相沉积，仅在凸起周缘和近凹带发育较大规模的三角洲沉积体系。渐新统陵水组沉积时期盆地处于断陷期，琼东南盆地发育强烈的走滑断裂，由于洋脊中心的跃迁，使琼东南盆地在整体拉张背景下产生一个挤压应力，随着沉积水体加深，部分三角洲前端发育海底扇沉积。中新统三亚组、梅山组沉积期盆地演化为断陷期和坳陷期，区域构造运动趋于平静，印度板块与欧亚板块碰撞的强度下降，太平洋板块相对欧亚大陆的会聚速率也有所下降，同时，南海中央次海盆的扩张活动因澳大利亚板块北缘与东南亚板块东南缘碰撞而逐渐减弱停止，而裂后沉降机制对盆地构造沉降的影响逐渐加强，琼东南盆地主要发育浅海沉积。中新统黄流组沉积期以来随着构造运动进一步减弱，琼东南盆地处于坳陷期，盆地周边应力场发生了较大变化，形成东挤西张的构造格局，盆地主要发育半深海—深海沉积<sup>[19]</sup>（图 3）。

2 宝岛凹陷北部断阶带成藏条件

2.1 近源成熟烃源供给

琼东南盆地发育 3 套潜在烃源岩，即始新统湖泊相泥岩、渐新统崖城组和陵水组海相泥岩及中新统三亚组和梅山组海相泥岩。宝岛 21 构造脊紧邻已证实的成熟洼陷，周边崖城组烃源岩生气强度总体大于  $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。宝岛凹陷北部断阶带发现的古近系天然气为崖城组高成熟煤型气<sup>[20-23]</sup>（图 4）， $\delta^{13}\text{C}_1$  值为  $-40.6\text{‰} \sim -39.9\text{‰}$ ，证实了该区油气运移活跃；从松南—宝岛凹陷崖城组生烃流线叠合生烃强度图来看，BD21 井紧邻宝岛凹陷北部生烃中心，为烃类运移的有利指向区（图 5）。宝岛凹陷渐新统崖城组陆源海相烃源岩大部分 TOC 高于 1%，碳质泥岩 TOC 达 2%；有机质类型以Ⅲ型为主，部分为Ⅱ<sub>2</sub>型，反映宝岛凹陷崖城组烃源条件优越，具备近源成熟烃源供给，勘探潜力巨大。

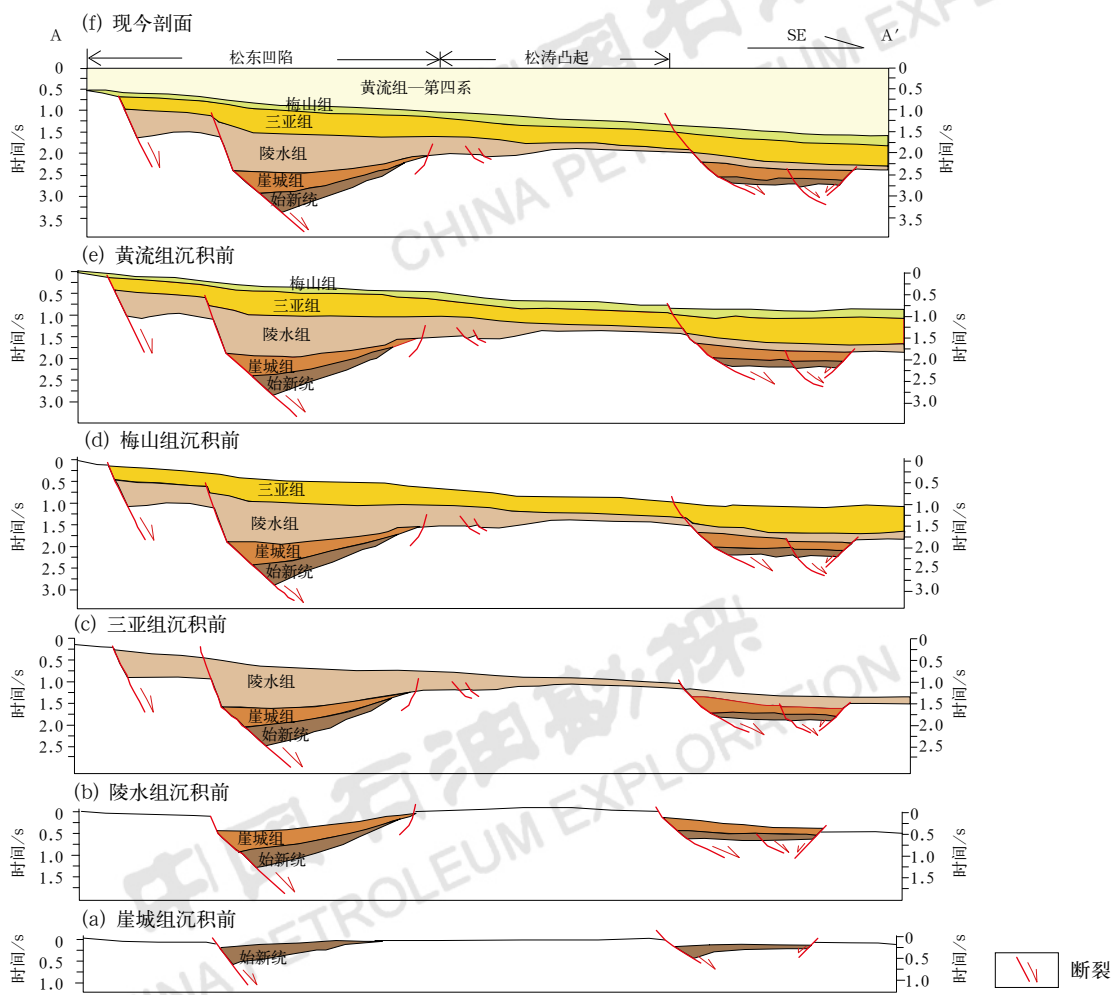


图 3 琼东南盆地构造演化图 (剖面位置见图 1)

Fig.3 Tectonic evolution profile of Qiongdongnan Basin (section location is in Fig.1)

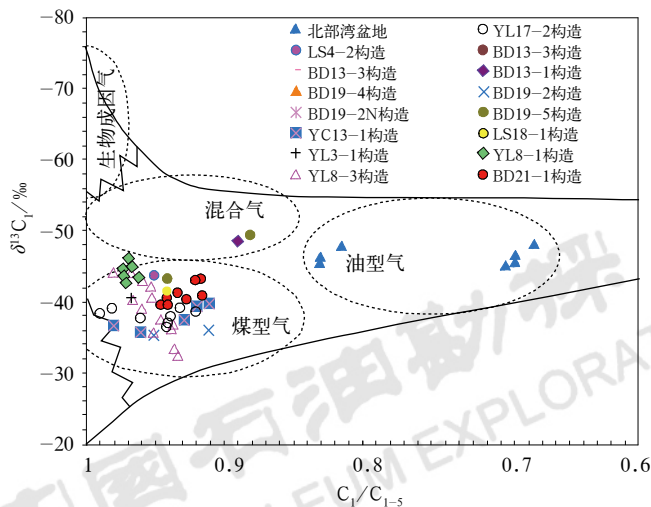


图 4 宝岛凹陷甲烷碳同位素与组分识别  
天然气成因图版

Fig.4 Genetic identification chart of methane carbon isotopes and natural gas components in Baodao Sag

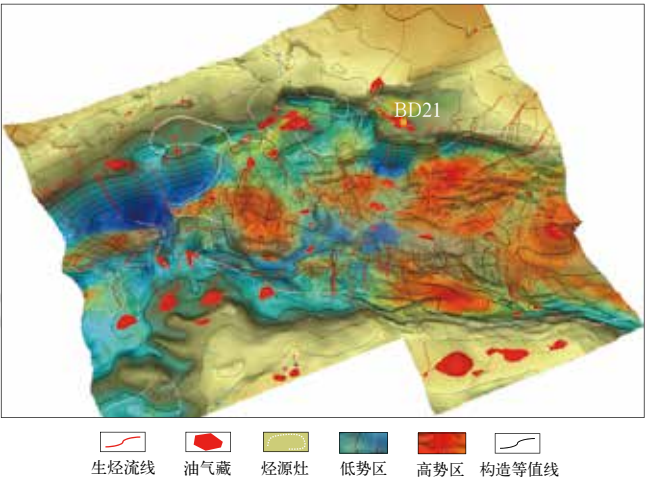


图 5 松南—宝岛凹陷崖城组生烃流线叠合生烃强度图  
Fig.5 Superimposed hydrocarbon generation streamline with hydrocarbon generation intensity of Yacheng Formation in Songnan-Baodao Sag



## 2.2 发育辫状河三角洲前缘大型储集体

宝岛凹陷陵水组沉积早期为辫状河三角洲沉积体系,物源供给充足<sup>[24-25]</sup>,通过岩心沉积特征、充填样式结合区域沉积背景分析,主要目的层陵水组三段(陵三段)表现为由低位体系域过渡到高位体系域的沉积过程(图6)。陵水组低位体系域沉积时期 BD21 井北部沉积边界主要受 12 号断裂控制,剥蚀区范围较大,并广泛发育凹槽地貌,为大量物源的会聚和输送提供了有利条件(图6)。沿宝岛凹陷北部断阶带发育大量辫状河三角洲沉积, BD21 井所在位置距北部断阶带有一定距离,为辫状河三角洲前缘沉积,储集体平面规模及纵向厚度大。随着海平面逐步上升,海侵体系域和高位体系域沉积时期北部陆架被淹没,大量物源被截留在陆架区,神狐隆起持续暴露剥蚀,12 号断裂强烈活动造成 BD21 井区地势较低,来自神狐隆起的物源继续向宝岛 21 构造推进,大量物源在该区卸载形成辫状河三角洲前缘厚层砂体沉积(图7)。BD21 井陵三段厚度为 415m,钻揭砂体累计厚度为 326.5m,单砂体厚度分布在 2~38m,大部分单砂体厚度大于 10m,且存在砂砾岩沉积,证明陵三段砂体具有相对近源沉积的特点。

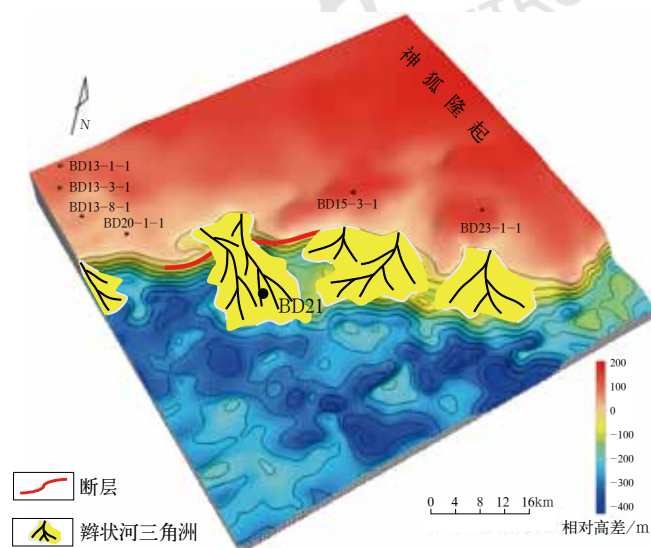


图6 BD21 构造陵三段低位体系域沉积时期古地貌图

Fig.6 Paleogeomorphic map of lowstand system tract of the 3<sup>rd</sup> member of Lingshui Formation in BD21 structure

## 2.3 油气充注阶段断裂活动性弱

与区域构造运动相匹配,宝岛凹陷北部断阶带断裂活动性由崖城组沉积期到梅山组沉积期逐渐减弱并趋于平稳。琼东南盆地地处三大板块交会处,基底断裂

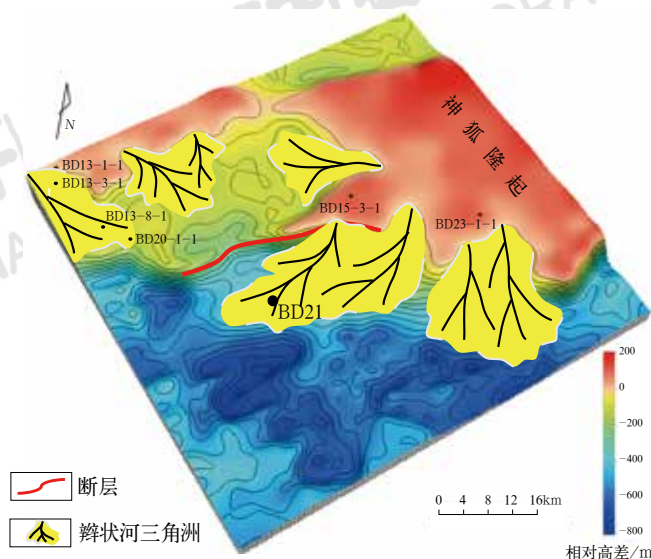


图7 BD21 构造陵三段海侵体系域 + 高位体系域沉积时期古地貌图

Fig.7 Paleogeomorphic map of transgressive system tract + highstand system tract of the 3<sup>rd</sup> member of Lingshui Formation in BD21 structure

发育,构造环境复杂,盆地内主要发育北东向、近东西向和北西向 3 组断裂,以北东向断裂和近东西向断裂为主,而北西向的断裂使盆地的构造格局变得复杂化。其中,近东西向的 12 号断裂和 12-1 号断裂对宝岛凹陷北部断阶带影响最大,控制了该区油气运移和聚集。断裂活动性分析表明,崖城组沉积期 12 号断裂、12-1 号断裂及 F1 断裂活动性强;陵水组沉积期 12 号断裂、12-1 号断裂、F1 断裂及 F2 等断裂活动性强,宝岛 21 构造旋转翘倾,有利于圈闭形成;三亚组—梅山组沉积期各断裂活动性逐渐减弱;黄流组沉积期至今仅 12 号断裂活动,其他断裂停止活动(图8)。结合北部断阶带完钻井包裹体分析(图9),认为宝岛凹陷北部断阶带存在两期油气充注,分别对应三亚组—梅山组沉积期和乐东组沉积期,油气充注阶段断裂活动性弱,为油气保存提供了有利条件。

## 2.4 储层埋深小、物性好

宝岛凹陷北部断阶带陵三段辫状河三角洲前缘规模较大,有利储层位于三角洲水下分流河道砂体内,钻探成果揭示 BD21 井陵三段岩石类型多样,细砂岩、中砂岩、粗砂岩均有发育,局部含砾,泥岩呈灰色,砂岩为块状构造,撕裂状泥岩呈定向排列(图10)。储层储集空间类型以粒间溶孔和粒内溶孔为主,由于储层埋深较小、压实作用相对较弱,颗粒之间表现为点接触和线接触(图11),大部分颗粒间孔隙得以保存。

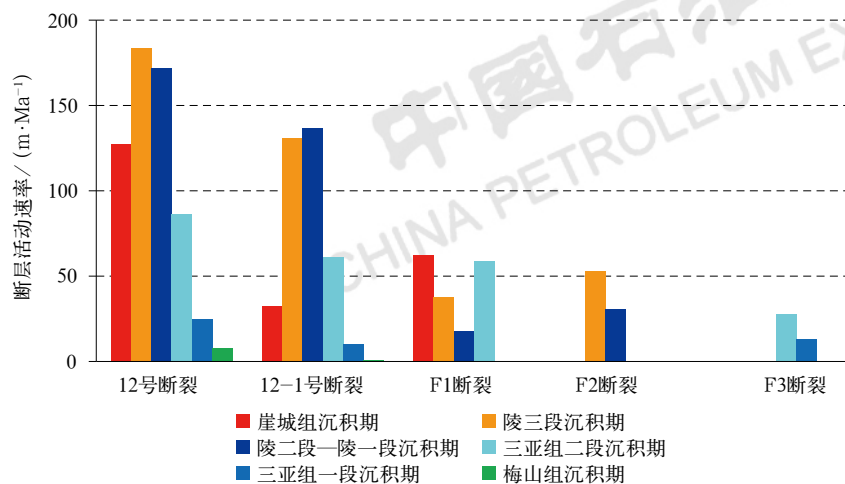


图 8 宝岛凹陷北部断阶带断裂活动性分析柱状图

Fig.8 Fault activity analysis histogram of the northern fault terrace zone in Baodao Sag

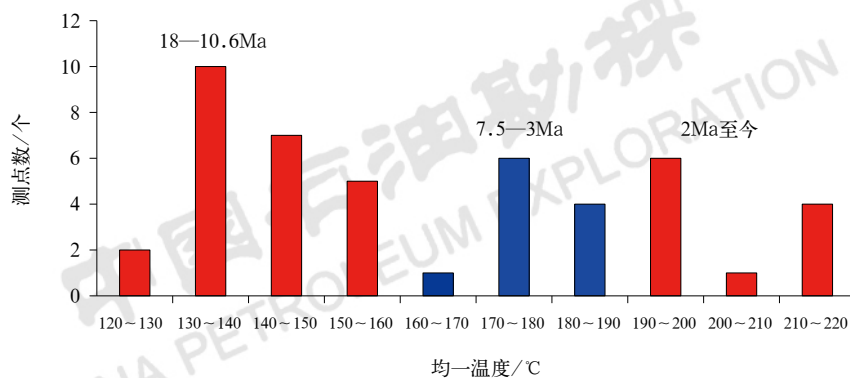


图 9 BD15 井陵水组包裹体均一温度分布直方图

Fig.9 Inclusion homogenization temperature distribution histogram of Lingshui Formation in Well BD15

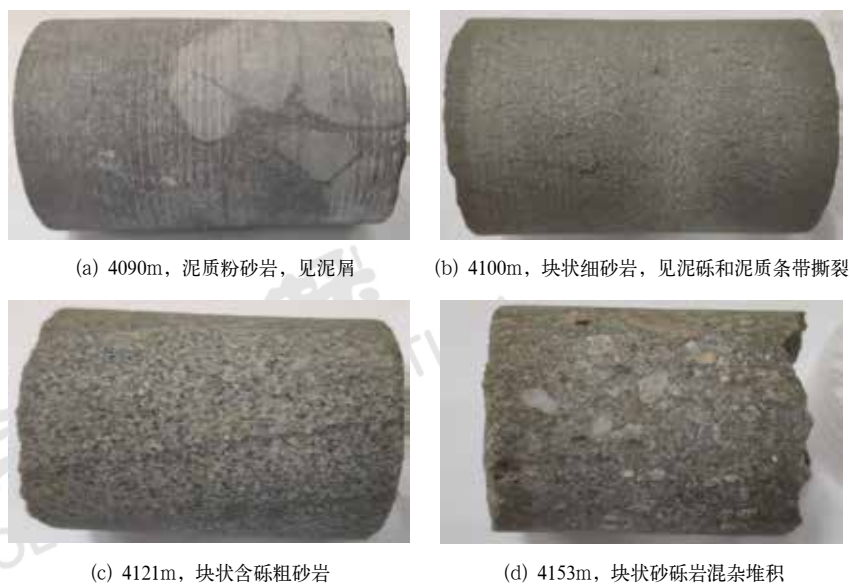


图 10 BD21 井陵三段储层岩心照片

Fig.10 Core photos of the 3<sup>rd</sup> member of Lingshui Formation in Well BD21

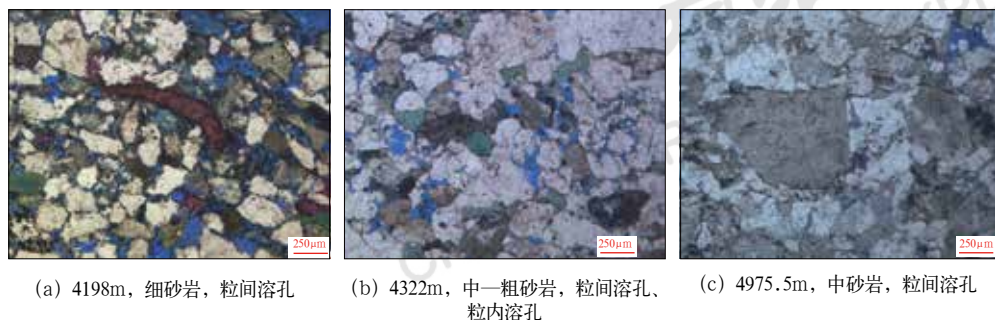


图 11 BD21 井陵三段镜下薄片特征

Fig.11 Thin section characteristics of the 3<sup>rd</sup> member of Lingshui Formation in Well BD21

BD21 井陵三段测井解释孔隙度为 10.0%~14.9%，平均孔隙度为 11.5%；渗透率为 1.3~12.5mD，平均渗透率为 4.2mD（图 12），储层呈中孔低渗特征。宝岛凹陷北部断阶带陵三段砂岩储层演化具有“海底以下深埋、缓慢升温”过程。首先，机械压实减少了储层孔隙，早期胶结作用进一步损失部分孔隙，而早期烃类充注产生的溶蚀作用在一定程度上改善了孔渗

条件，最终形成中孔低渗储层。钻探揭示宝岛 13 区和宝岛 19 区存在晚期高温 CO<sub>2</sub> 充注，形成的大量热液矿物、碳酸盐胶结物和黏土矿物堵塞喉道，降低储层孔渗条件；而宝岛 21 区不存在 CO<sub>2</sub> 充注造成的减孔作用，使得该区陵三段储层孔渗条件明显优于宝岛 13 区和宝岛 19 区。

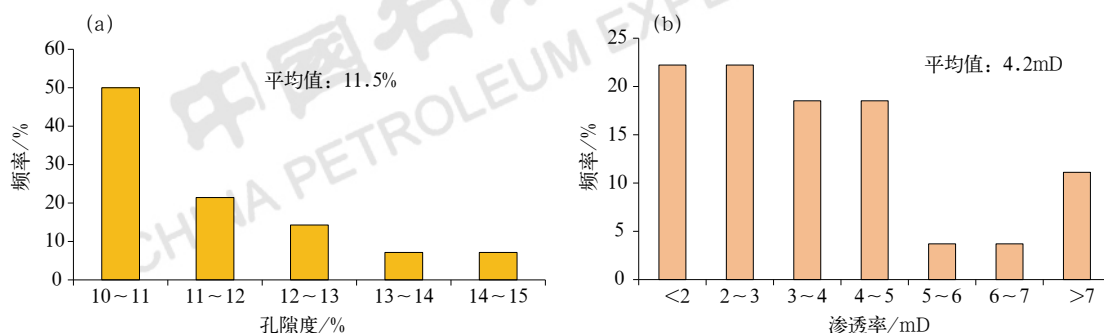


图 12 BD21 井陵三段储层孔渗分布直方图

Fig.12 Porosity and permeability distribution histogram of the 3<sup>rd</sup> member of Lingshui Formation in Well BD21

## 2.5 “断裂 + 砂体” 高效油气输导

宝岛凹陷北部断阶带输导要素主要包括断裂和骨架砂体两类。深水东区断裂比西区更为发育，且以伸展型断裂体系为主，12 号断裂控制了北部断阶带的形成。崖城组成熟烃源岩生成的油气沿 12-1 号沟源断裂进行纵向运移，断裂在沟通成熟烃源岩的同时，向上导通了多个圈闭。油气在向上运移过程中进一步细分为两条通道<sup>[26-28]</sup>，大部分油气沿 12-1 号断裂纵向运移到陵水组聚集成藏；部分油气沿陵水组三角洲砂体进行横向运移并聚集成藏（图 13）。宝岛凹陷北部断阶带陵水组油气输导整体具有“近源、断—砂

阶梯型输导、三角洲储集、构造—岩性圈闭”配置的特征，运聚条件优越。

## 2.6 区域储盖组合稳定、圈闭保存条件良好

钻探揭示松南—宝岛凹陷盖层发育，其中稳定分布的盖层有三亚组—梅山组厚层泥岩、黄流组—莺歌海组厚层泥岩和乐东组厚层泥岩<sup>[29-30]</sup>（图 2），泥岩单层厚度最大在 200m 以上，总厚度超过 1000m（图 14）。宝岛凹陷古近纪以来为发展型盆地，沉积环境由分隔陆盆逐渐过渡到局限海盆和开阔海盆，水体逐渐加深，水域逐渐扩大，形成了梅山组广泛分布的区域性盖层。宝岛凹陷陵三段发育北西向和北东



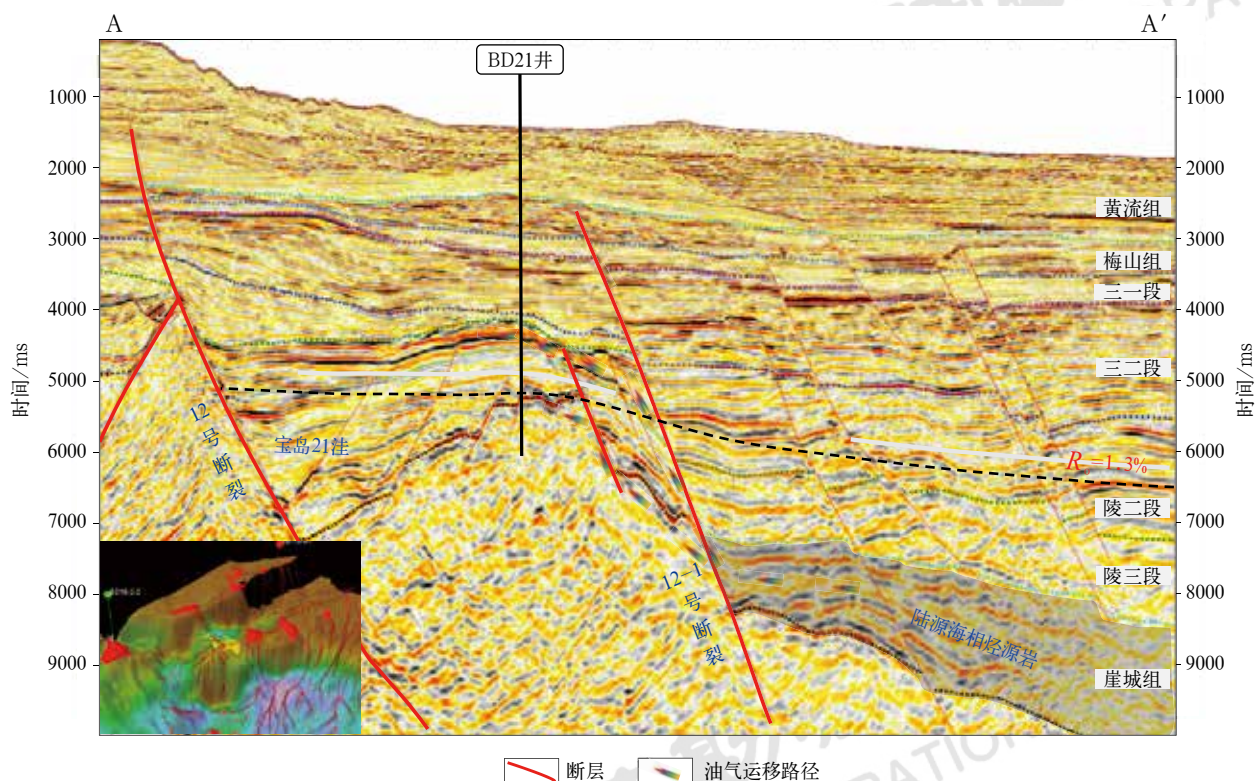


图 13 过 BD21 井油气运移示意图 (剖面位置见图 1)

Fig.13 Schematic diagram of hydrocarbon migration cross Well BD21 (section location is in Fig.1)

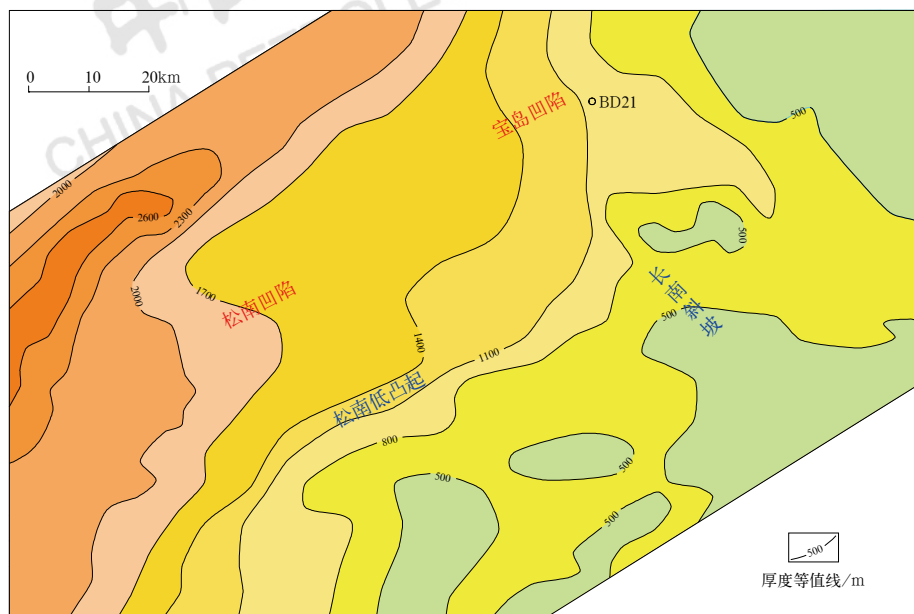


图 14 深水东区区域性泥岩盖层厚度图

Fig.14 Thickness map of regional mudstone cap rock in the eastern deep-water area

向的多支扇体沉积, 神狐隆起区物源受 12 号断裂控制, 在宝岛凹陷陵三段卸载形成三角洲前缘厚层砂体沉积, 与上覆厚层浅海一半深海相泥岩形成优质储盖组合。该区域性储盖组合覆盖了陵水组—三亚组—梅

山组油气成藏系统内油气源—运移—聚集成藏的整个空间范围, 构成了油气运移输导层的闭合环, 保证油气在流体势梯度控制下沿输导体系进行封闭条件下的运移和聚集。



### 3 勘探启示

#### 3.1 宝岛凹陷北部断阶带成藏地质条件优越

宝岛凹陷北部断阶带为崖城组成熟烃源岩生成的油气的有利运移指向区,构造运动、断裂活动性与供烃时机匹配,辫状河三角洲前缘储集体与沟源断裂形成垂向+短侧向高效油气输导体系,上覆多套区域盖层与各成藏要素匹配形成优越成藏条件。琼东南盆地深水东区前期钻井主要位于宝岛凹陷北部断阶带西段和神狐隆起。位于神狐隆起的 BD15 井 MDT 测试  $\text{CO}_2$  含量为 97%,证实宝岛凹陷北部 12 号断裂沟通下部幔源无机成因  $\text{CO}_2$ ,造成 12 号断裂以北的神狐隆起普遍存在幔源  $\text{CO}_2$  充注风险。北部断阶带西段宝岛 13 圈闭和宝岛 19 圈闭构造位置相对较低,陵三段埋深在 4000m 以上,储层物性相对较差,且圈闭类型为受复杂断层切割的断块圈闭,油气保存条件欠佳,使得北部断阶带西段含油气性整体较差。另一方面,北部断阶带西段 2-1 号断裂与北部 12 号断裂直接相连,从 BD19 井等 6 口井测试情况来看,其中 5 口井测试  $\text{CO}_2$  含量均高于 50%,表明北部断阶带西段  $\text{CO}_2$  充注风险较高。而 BD21 井位于宝岛凹陷北部 12-1 号断裂和 12 号断裂夹持的北部断阶带,构造位置相对较高,储层埋深较小,物性相对较好。流体充注方面,一方面 12-1 号断裂作为沟源断裂为圈闭提供充足的油气供给,另一方面北部断阶带位于 12 号断裂下盘,受 12 号断裂  $\text{CO}_2$  运移影响较小,钻探印证了宝岛 21 区为更有利的油气充注区域。

#### 3.2 明确了宝岛凹陷北部断阶带为有利勘探目标区

前期勘探证实,凹陷断阶带及斜坡带已发现大量规模油气藏<sup>[31-34]</sup>,宝岛凹陷北部断阶带成藏地质条件优越,为有利勘探区带。宝岛凹陷发育崖城组海岸平原煤系烃源岩和浅海烃源岩,烃源岩厚度大,生烃能力强。北部断阶带东段陵三段沉积时期主要受 12 号断裂控制,广泛发育剥蚀区,冲蚀凹槽内剥蚀物聚集,为沉积物的汇集卸载提供了条件,储集性能良好的辫状河三角洲前缘储集体与上部广泛发育的厚层浅海相泥岩形成优质储盖组合。12 号断裂旋转翘倾形成构造—岩性复合圈闭,储层与沟源断裂形成垂向+短侧向的高效输导体系。在此基础上建立了北部断阶带东段成藏模式,即煤系和浅海烃源供烃、断裂—砂体垂向+短侧向输导、大型三角洲前缘储集体聚集

成藏。因此,后续深水东区勘探方向将继续寻找近凹断阶带大型储集体,勘探部署以陵三段为重点层系,同时兼顾其他层系。

### 4 结论

(1) BD21 井实现了中国南海在琼东南盆地深水东区首次重大勘探突破,打破了宝岛—长昌凹陷的成藏认识制约,实现了深水油气勘探的战略转移,对扩大宝岛凹陷储量规模、盘活北部断阶带具有引领意义。

(2) BD21 井钻探证实宝岛凹陷北部断阶带发育古近系陵三段辫状河三角洲沉积砂体,紧邻下伏崖城组烃源岩,具有典型的近源成藏特征;构造演化与供烃时机匹配,储层与沟源断裂形成垂向+短侧向高效输导体系,与上覆梅山组区域盖层协同形成大型构造—岩性圈闭背景,成藏地质条件优越。

(3) BD21 井的突破证实深水东区宝岛凹陷北部断阶带为有利的勘探目标区,陵水组新增天然气探明+控制地质储量  $(250\sim 280)\times 10^8\text{m}^3$ ,潜在资源量为  $1587\times 10^8\text{m}^3$ 。后续勘探将继续围绕深水东区寻找近凹断阶带大型储集体,推动琼东南盆地深水区天然气增储上产。

### 参考文献

- [1] 张迎朝,徐新德,甘军,等.琼东南盆地深水大气田地质特征、成藏模式及勘探方向研究[J].地质学报,2017,91(7):1620-1633.  
Zhang Yingzhao, Xu Xinde, Gan Jun, et al. Study on the geological characteristics, accumulation model and exploration direction of the giant deepwater gas field in the Qiongdongnan Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2017,91(7):1620-1633.
- [2] 谢玉洪.中国海洋石油总公司油气勘探新进展及展望[J].中国石油勘探,2018,23(1):26-35.  
Xie Yuhong. New progress and prospect of oil and gas exploration of China National Offshore Oil Corporation[J]. China Petroleum Exploration, 2018,23(1):26-35.
- [3] 王振峰,孙志鹏,朱继田,等.南海西部深水天然气地质与大气田重大发现[J].天然气工业,2015,35(10):11-20.  
Wang Zhenfeng, Sun Zhipeng, Zhu Jitian, et al. Natural gas geological characteristics and great discovery of large gas fields in deep water area of the western South China Sea[J]. Natural Gas Industry, 2015,35(10):11-20.
- [4] 施和生,杨计海,张迎朝,等.琼东南盆地地质认识创新与深水领域天然气勘探重大突破[J].中国石油勘探,2019,24(6):691-698.  
Shi Hesheng, Yang Jihai, Zhang Yingzhao, et al. Geological understanding innovation and major breakthrough to natural gas exploration in deep water in Qiongdongnan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(6):691-698.
- [5] 王陆新,潘继平,杨丽丽.全球深水油气勘探发现状与前景展望[J].石油科技论坛,2020,39(2):31-37.

- Wang Luxin, Pan Jiping, Yang Lili. Present conditions and prospect of global deepwater oil and gas exploration and development[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020,39(2):31-37.
- [6] 谢玉洪, 高阳东. 中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2020,25(1):20-30.
- Xie Yuhong, Gao Yangdong. Recent domestic exploration progress and direction of CNOOC[J]. China Petroleum Exploration, 2020,25(1):20-30.
- [7] 段瑞凯, 杨宝泉, 顾文欢, 等. 深水油田高效开发策略及实践[J]. 石油科技论坛, 2019,38(5):48-56.
- Duan Ruikai, Yang Baoquan, Gu Wenhuan, *et al.* Schemes and practice of high-efficiency deepwater oilfield development[J]. Oil Forum, 2019,38(5):48-56.
- [8] 张功成, 曾清波, 苏龙, 等. 琼东南盆地深水陵水17-2大气田成藏机理[J]. 石油学报, 2016,37(增刊1):34-46.
- Zhang Gongcheng, Zeng Qingbo, Su Long, *et al.* Accumulation mechanism of Lingshui 17-2 deep water giant gas field in Qiongdongnan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016,37(S1):34-46.
- [9] 李安琪, 叶绮, 王真真, 等. 琼东南盆地陵水凹陷北部梅山组砂质碎屑流沉积特征及油气地质意义[J]. 地质科技通报, 2021,40(1):110-118.
- Li Anqi, Ye Qi, Wang Zhenzhen, *et al.* Sedimentary characteristics and significance in hydrocarbon exploration of sandy debris flow in Meishan Formation of the northern Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021,40(1):110-118.
- [10] 杨东升, 赵志刚, 杨海长, 等. 琼东南盆地乐东-陵水凹陷底辟构造及其油气地质意义[J]. 中国石油勘探, 2018,23(3):64-73.
- Yang Dongsheng, Zhao Zhigang, Yang Haizhang, *et al.* Diapir structure and its significance to hydrocarbon accumulation on Ledong-Lingshui Sag, the Qiongdongnan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2018,23(3):64-73.
- [11] 黄保家, 李里, 黄合庭. 琼东南盆地宝岛北坡浅层天然气成因与成藏机制[J]. 石油勘探与开发, 2012,39(5):530-536.
- Huang Baojia, Li Li, Huang Heting. Origin and accumulation mechanism of shallow gas in the North Baodao slope, Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(5):530-536.
- [12] 张新顺, 黄志龙, 范彩伟, 等. 琼东南盆地宝岛凹陷北斜坡油气运聚模式探讨[J]. 高校地质学报, 2014,20(4):602-610.
- Zhang Xinshun, Huang Zhilong, Fan Caiwei, *et al.* Oil and gas migration model of the Northern slope of the Baodao Sag, the Qiongdongnan Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2014,20(4):602-610.
- [13] 钟佳, 杨希冰, 朱沛苑, 等. 琼东南盆地宝岛-长昌凹陷陵水组储层差异演化特征[J]. 地球科学, 2019,44(8):2665-2676.
- Zhong Jia, Yang Xibing, Zhu Peiyuan, *et al.* Porosity evolution difference of the Lingshui Formation reservoir between Baodao and Changchang Sag, Qiongdongnan Basin[J]. Earth Science, 2019,44(8):2665-2676.
- [14] 史淑玲, 魏魁生, 石玉军. 南海盆地宝岛-松涛凹陷低位体系域时空组合特征及其与油气赋存关系[J]. 石油勘探与开发, 2004,31(4):32-35.
- Shi Shuling, Wei Kuisheng, Shi Yujun. The spatial assemblage characteristics of the lowstand system tract and their occurrence with oil and gas, Baodao-Songtao Sag, South China Sea Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004,31(4):32-35.
- [15] 廖计华, 王华, 吕明, 等. 琼东南盆地深水松南-宝岛凹陷同沉积断裂活动及其对沉积充填的控制[J]. 中国矿业大学学报, 2016,45(2):336-346.
- Liao Jihua, Wang Hua, Lv Ming, *et al.* Evolution of syndepositional faulting and its controlling effect on sedimentary filling in Songnan-Baodao Sag of Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016,45(2):336-346.
- [16] 江汝锋, 郭明刚, 朱继田, 等. 琼东南盆地深水宝岛凹陷3D输导体系评价[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018,40(2):57-66.
- Jiang Rufeng, Guo Minggang, Zhu Jitian, *et al.* Evaluation of 3D hydrocarbon migration system in Baodao Sag in the deep water area of Qiongdongnan Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2018,40(2):57-66.
- [17] 丁文静, 侯读杰, 陈立, 等. 琼东南盆地松南-宝岛凹陷特殊成因天然气及油气源分析[J]. 东北石油大学学报, 2018,42(3):1-15,123.
- Ding Wenjing, Hou Dujie, Chen Li, *et al.* Characteristics and origin analysis of a unique genetic type of natural gases in Songnan-Baodao Sag, southeast Qiong Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2018,42(3):1-15,123.
- [18] 韩光明, 李绪深, 王立峰, 等. 琼东南盆地宝岛凹陷北坡断裂体系新认识及与天然气成藏关系[J]. 天然气地球科学, 2013,24(2):352-355.
- Han Guangming, Li Xushen, Wang Lifeng, *et al.* New explanation of fault system in Baodao Sag's northern slope of Qiongdongnan Basin and its affect for natural gas accumulation[J]. Natural Gas Geoscience, 2013,24(2):352-355.
- [19] 杨金海, 杨希冰, 周杰, 等. 琼东南盆地深水松南-宝岛凹陷反转构造带发育特征及油气地质意义[J]. 海洋学报, 2019,41(5):97-106.
- Yang Jinhai, Yang Xibing, Zhou Jie, *et al.* Characteristics of inversion structure belts and their hydrocarbon geological in the Songnan-Baodao Sag in deep water area of the Qiongdongnan Basin[J]. Haiyang Xuebao, 2019,41(5):97-106.
- [20] 梁刚, 甘军, 游君君, 等. 琼东南盆地低熟煤型气地球化学特征及勘探前景[J]. 天然气地球科学, 2020,31(7):895-903.
- Liang Gang, Gan Jun, You Junjun, *et al.* Geochemical characteristics and exploration prospect of low mature coal-derived gas in Qiongdongnan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2020,31(7):895-903.
- [21] 孙瑞, 韩银学, 曾清波, 等. 琼东南盆地深水东段崖城组沉积特征及对海相烃源岩的控制[J]. 石油学报, 2019,40(增刊2):57-66.
- Sun Rui, Han Yinxue, Zeng Qingbo, *et al.* Sedimentary characteristics of Yacheng Formation in the eastern deep water area in Qiongdongnan Basin and their control on marine rocks[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019,40(S2):57-66.
- [22] 梁刚, 甘军, 李兴, 等. 琼东南盆地浅水区与深水区烃源岩热演化差异性影响因素研究[J]. 特种油气藏, 2019,26(1):69-74.
- Liang Gang, Gan Jun, Li Xing, *et al.* Influential factors of thermal evolution difference of source rocks in shallow and deep water areas of southeastern Hainan Basin[J]. Special Oil & Gas

- Reservoir, 2019,26(1):69-74.
- [23] 吴飘, 侯读杰, 甘军, 等. 琼东南盆地深水东区渐新统烃源岩发育模式[J]. 沉积学报, 2019,37(3):633-647.
- Wu Piao, Hou Dujie, Gan Jun, *et al.* Developmental model of oligocene source rock in the eastern deep water area of Qiongdongnan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(3):633-647.
- [24] 李增学, 宋广增, 王东东, 等. 琼东南盆地渐新统煤系(扇)辫状河三角洲特征[J]. 地球科学, 2018,43(10):3471-3484.
- Li Zengxue, Song Guangzeng, Wang Dongdong, *et al.* Characteristics of (fan) braided river delta in oligocene coal measures of Qiongdongnan Basin[J]. Earth Science, 2018, 43(10):3471-3484.
- [25] 李祥, 张春生, 李鹏, 等. 琼东南盆地陵水组层序地层与沉积相分析[J]. 中国地质, 2014,41(1):173-186.
- Li Xiang, Zhang Chunsheng, Li Peng, *et al.* The sequence stratigraphy and sedimentary facies analysis of Lingshui Formation in Qiongdongnan Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(1):173-186.
- [26] 陈欢庆, 朱筱敏, 张功成, 等. 海相断陷盆地输导体系分类及组合模式特征:以琼东南盆地古近系陵水组为例[J]. 地学前缘, 2021,28(1):282-294.
- Chen Huanqing, Zhu Xiaomin, Zhang Gongcheng, *et al.* Classification and combination model characteristics of pathway system in marine faulted basin: taking the paleogene Lingshui Formation, Qiongdongnan Basin as an example[J]. Earth Science Frontiers, 2021,28(1):282-294.
- [27] 张功成, 贾庆军, 王万银, 等. 南海构造格局及其演化[J]. 地球物理学报, 2018,61(10):4194-4215.
- Zhang Gongcheng, Jia Qingjun, Wang Wanyin, *et al.* On tectonic framework and evolution of the South China Sea [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018,61(10):4194-4215.
- [28] 张佳星, 尹宏伟, 朱继田, 等. 基底性质对断裂构造的影响:以琼东南盆地为例[J]. 高校地质学报, 2018,24(4):563-572.
- Zhang Jiaying, Yin Hongwei, Zhu Jitian, *et al.* Influence of basement property on the fracture structure: a case study of the Qiongdongnan Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2018,24(4):563-572.
- [29] 郝芳, 刘建章, 邹华耀, 等. 莺歌海—琼东南盆地超压层系油气聚散机理浅析[J]. 地学前缘, 2015,22(1):169-180.
- Hao Fang, Liu Jianzhang, Zou Huayao, *et al.* Mechanisms of natural gas accumulation and leakage in the overpressured sequences in the Yinggehai and Qiongdongnan Basins, offshore South China Sea[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 169-180.
- [30] 刘静静, 刘震, 孙志鹏, 等. 深水稀井区天然气藏储盖组合定量预测方法研究:以琼东南盆地陵水凹陷为例[J]. 现代地质, 2018,32(4):796-806.
- Liu Jingjing, Liu Zhen, Sun Zhipeng, *et al.* Quantitative forecast method of reservoir-seal assemblage for gas in deep water area with sparse wells: a case study of Lingshui Depression, Qiongdongnan Basin[J]. Geoscience, 2018,32(4): 796-806.
- [31] 刘桂珍, 张德诗, 李能武. 昆北断阶带基岩储层特征及油气成藏条件[J]. 岩性油气藏, 2015,27(2):62-69.
- Liu Guizhen, Zhang Deshi, Li Nengwu. Characteristics of basement reservoirs and hydrocarbon accumulation conditions in the northern Kunlun fault zone[J]. Lithologic Reservoirs, 2015,27(2):62-69.
- [32] 马新民, 赵明君, 石亚军, 等. 阿尔金南斜坡东段鼻状构造带构造演化特征及找气方向[J]. 天然气工业, 2013,33(5):19-23.
- Ma Xinmin, Zhao Mingjun, Shi Yajun, *et al.* Evolution history and gas exploration of the nose-like structural belt in the eastern part of south Altun slope, Qaidam Basin [J]. Natural Gas Industry, 2013,33(5):19-23.
- [33] 周生友, 马艳, 唐永坤, 等. 滨里海盆地北部—西北部断阶带盐下油气成藏条件[J]. 新疆石油地质, 2010,31(2):216-219.
- Ma Shengyou, Ma Yan, Tang Yongkun, *et al.* Forming condition for hydrocarbon accumulation and hydrocarbon accumulation pattern in the northern part of Pre-caspian Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010,31(2):216-219.
- [34] 周心怀, 高顺莉, 高伟中, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷平北斜坡带海陆过渡型岩性油气藏形成与分布预测[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(2):153-164.
- Zhou Xinhui, Gao Shunli, Gao Weizhong, *et al.* Formation and distribution of marine-continental transitional lithologic reservoirs in Pingbei slope belt, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(2):153-164.