

琼东南盆地陵水北坡LS13-2区勘探思路与突破方向

周荔青, 江东辉, 杨鹏程, 张如凤, 董鑫, 桑亚迪

(中国石化上海海洋油气分公司, 上海 200120)

摘要: 琼东南盆地陵水凹陷南坡已发现了中央峡谷千亿方级气田, 证实了陵水凹陷为富生烃凹陷。而陵水凹陷北坡LS13-2区的岩性圈闭勘探虽然也取得了“点”上的突破, 但“见气不见田”, 勘探效果不佳。为了明确该地区的油气富集规律和有利区带, 以含油气盆地分析为基础, 聚焦关键成藏要素, 提出了新的勘探思路, 并明确了有利成藏区带。研究结果表明: 工区成藏条件整体有利, 具备“充足烃源、规模储层、高效输导、整体保存”的大-中型油气田形成基础, 但对于中新统岩性圈闭勘探来讲, 也存在“烃源岩主排烃期早于圈闭定型期, 断层垂向输导能力低”的不利因素, 据此建立了“早期成藏、岩性圈闭、断-砂输导”三元勘探评价要素, 并评价认为探区西部断坡海底扇带具备“原生油气藏、规模岩性圈闭、断-砂高效输导”的有利成藏条件, 为最有利成藏区带。

关键词: 富集规律; 成藏条件; 有利区带; 梅山组; 陵水凹陷; 琼东南盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Philosophy and potential breakthroughs for hydrocarbon exploration in block LS13-2 on the northern slope of the Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin

ZHOU Liqing, JIANG Donghui, YANG Pengcheng, ZHANG Rufeng, DONG Xin, SANG Yadi

(Shanghai Offshore Petroleum Company, SINOPEC, Shanghai 200120, China)

Abstract: The Central Canyon gas field, with reserves exceeding 100 billion cubic meters, has been discovered on the southern slope of the Lingshui Sag in the Qiongdongnan Basin, confirming the hydrocarbon-rich nature of this sag. Despite local breakthroughs, lithological reservoir exploration in block LS13-2 on the northern slope of the Lingshui Sag has yielded merely gas shows rather than substantial reserves, indicating unsatisfactory exploration outcomes. This study aims to determine the hydrocarbon accumulation patterns and play fairways in the block. By analyzing petroliferous basins and critical factors controlling hydrocarbon accumulation, we propose a novel philosophy of hydrocarbon exploration and identify paly fairways for hydrocarbon accumulation. The results indicate that block LS13-2 exhibits generally favorable conditions for hydrocarbon accumulation, which lay the foundations for the formation of large- to medium-sized oil and gas fields characterized by sufficient hydrocarbon sources, large-scale reservoirs, efficient carrier systems, and generally excellent preservation conditions. Nevertheless, the exploration of the Miocene lithologic traps faces challenges due to unfavorable factors such as the main hydrocarbon expulsion stage of source rocks occurring earlier than trap formation and the low vertical hydrocarbon transport capability of faults. Accordingly, we develop a three-dimension exploration assessment methodology consisting of early hydrocarbon accumulation, lithologic traps, and fault-sand body conduit system. The assessment results indicate that the submarine fan zone of the western ramp features favorable hydrocarbon accumulation conditions encompassing primary hydrocarbon reservoirs, large-scale lithologic traps, and efficient fault-sand body carrier systems, establishing this zone as an optimal play fairway.

Key words: enrichment pattern, accumulation condition, play fairway, Meishan Formation, Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin

收稿日期: 2024-01-30; 修回日期: 2024-05-18。

第一作者简介: 周荔青 (1964—), 男, 博士、教授级高级工程师, 油气勘探综合研究。E-mail: zhoulq.shhy@sinopec.com。

基金项目: 中国石化集团公司科技项目 (P23001)。

引用格式:周荔青,江东辉,杨鹏程,等.琼东南盆地陵水北坡LS13-2区勘探思路与突破方向[J].石油与天然气地质,2024,45(3):673-683. DOI: 10.11743/ogg20240307.

ZHOU Liqing, JIANG Donghui, YANG Pengcheng, et al. Philosophy and potential breakthroughs for hydrocarbon exploration in block LS13-2 on the northern slope of the Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(3): 673-683. DOI: 10.11743/ogg20240307.

1 区域地质概况

琼东南盆地位于海南岛东南侧,总体呈北东向延伸,为新生代发育的被动大陆边缘盆地。盆地垂向上具有“下断上坳”的双层结构,平面上呈现出“南北分带、东西分块”的构造格局^[1]。盆地断陷期为隆-洼相间构造格局,自北向南划分为海南隆起、北部坳陷、中部隆起、中央坳陷和南部隆起5个一级构造单元^[2];拗陷期为被动大陆边缘盆地,自北向南发育“陆架-陆坡-深海平原”构造单元。琼东南盆地油气资源丰富,先后发现了崖城13-1和陵水17-2等大-中型气田^[3],勘探潜力巨大。

陵水凹陷位于琼东南盆地中央坳陷西部(图1a,b)。根据周边钻井揭示,地层自下而上依次为始新统,渐新统崖城组、陵水组,中新统三亚组、梅山组、黄流组,上新统莺歌海组以及第四系乐东组等(图1c)^[4]。断陷层的崖城组和陵水组发育半封闭海湾-浅海相沉积环境,是主要的烃源层系;拗陷层的三亚组、梅山组和黄流组低位域为浅海-半深海背景下的海底扇沉积,是勘探的主要目的层。

研究区LS13-2位于陵水凹陷北坡,目前共计7口钻井(图1b),勘探类型主要为梅山组斜坡扇和盆底扇。从勘探成效来看,具有“口口见油气,见气不见田”的特征,虽然取得了商业油气发现,但受限于储量规模,无法开发建产。7口钻井中除了C井和F井2口成功井外,其余井钻探效果均较差,单井气层厚度普遍在10~20 m,油气充满度不高,油气富集程度差异大。目前,研究区勘探存在的主要问题是油气富集规律认识不清,有利勘探区带不明,严重阻碍了该地区的勘探进程。

2 油气成藏条件

勘探实践和研究表明,陵水凹陷及周边油气成藏条件整体有利,南部中央峡谷千亿方级气田的发现表明陵水凹陷资源潜力巨大,在有利储层和优势运聚方向的耦合下能形成规模性油气聚集^[5-6]。研究区具备“充足烃源、规模储层、高效输导、整体保存”的大-中型油气田形成基础。

2.1 烃源条件

研究区位于陵水凹陷北坡,紧邻凹陷生烃中心,烃

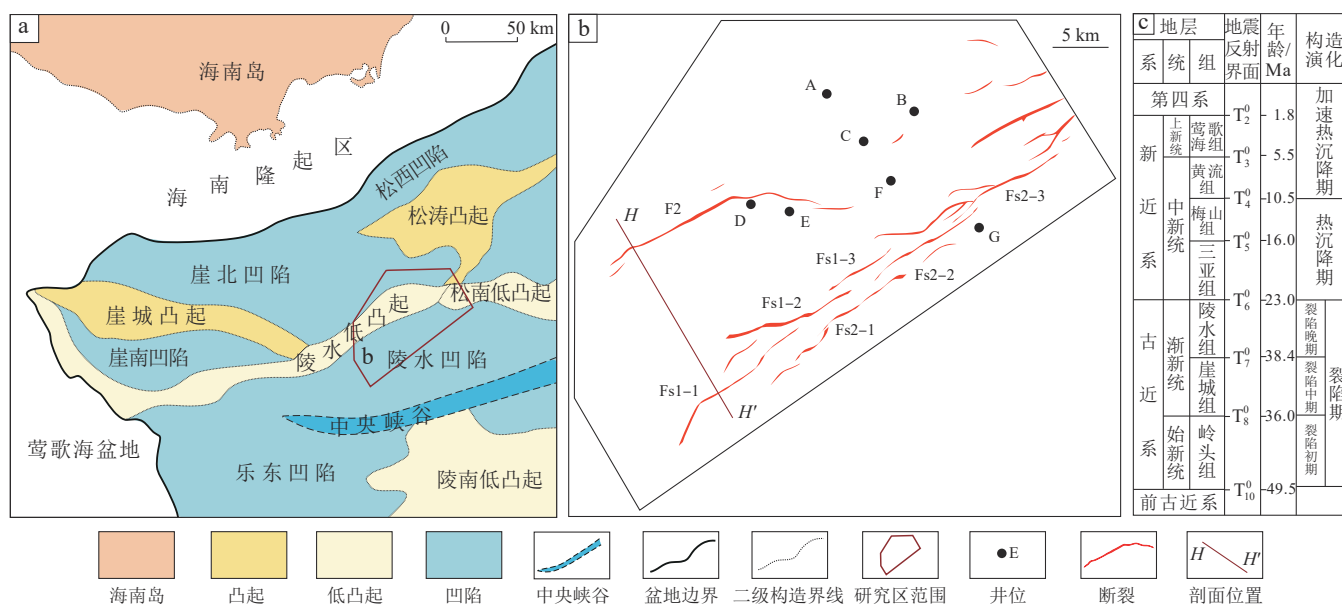


图1 琼东南盆地陵水凹陷LS13-2区构造位置和地层综合柱状图

Fig. 1 Tectonic location map and composite stratigraphic column of block LS13-2 in the Lingshui Sag of the Qiongdongnan Basin

a. 琼东南盆地构造背景;b. 研究区构造概况与井位分布;c. 琼东南盆地陵水凹陷地层发育及构造演化

源条件优越,目前无井揭示烃源岩,但与崖城地区沉积相带相似,推测也发育崖城组和陵水组2套烃源岩^[7],且研究区位于海-陆过渡相和浅海相的过渡区,认为发育海-陆过渡相煤系和陆源海相泥岩2类烃源岩,并以陆源海相烃源岩为主,而天然气来源的分析^[8-9]也证实了这一结论。

崖城组推测为研究区主力烃源岩,相控约束下,在凹陷区发育陆源海相烃源岩,在凸起-斜坡区发育海-陆过渡相烃源岩。类比崖城地区YC21-1-4井等实钻井,推测研究区烃源岩有机质丰度(总有机碳含量TOC)平均在1.0%左右。利用地震资料落实崖城组烃源岩厚度可达700~1 000 m,主要分布在探区西侧的陵水次洼(图2a)。现今烃源岩成熟度普遍达到高成熟-过成熟。

陵水组推测为次要烃源岩,由于陵水组沉积时期海平面开始上升,主要发育陆源海相烃源岩,有机质丰度略低于崖城组^[10],类比崖城地区钻井,推测研究区TOC小于1.0%。利用地震资料落实洼陷中心泥岩厚度可达750~1 000 m(图2b);现今烃源岩正处于成熟-高成熟演化阶段。通过探区盆地模拟,计算研究区资源量约2 200×10⁸ m³,具备大-中型油气田形成的资源基础。

2.2 储层条件

陵水凹陷拗陷期三亚组、梅山组和黄流组为滨浅

海-半深海沉积,发育远源三角洲-海底扇沉积体系,物源主要来自北部海南岛陵水河物源^[11-12]。研究区主要位于陆坡-深海平原过渡区,高部位陆架三角洲向前推进形成了大型斜坡扇和盆底扇沉积体系。已在研究区内梅山组钻遇了斜坡扇沉积体系^[5],其中C井和F井钻遇了等深流改造的斜坡扇分支水道微相,扇体整体平行岸线分布,在地震剖面上表现为“一谷一峰”的短轴状强反射,陆坡之下则发育规模盆底扇沉积,斜坡扇和盆底扇为储层的发育奠定了基础(图3a)。

钻井揭示研究区梅山组砂体较发育,储层非均质性强。已钻F井为高产井,该井揭示的储层物性最好,渗透率超过10×10⁻³ μm²,明显优于其他钻井,分析认为该井优质储层的发育主要受沉积相带、等深流改造和次生溶蚀等因素共同影响^[13-15]。F井钻遇斜坡扇分支水道的主体部位(图3b),扇体距物源相对较远,加之等深流影响,导致其储层泥质含量较低;薄片分析可见F井中存在明显的次生溶蚀孔(图4)^[14-15],综合导致了该井发育优质储层。推测研究区远端盆底扇可能泥质含量更低,储层物性更好。

2.3 输导条件

结合源-储关系分析,研究区成藏组合为“下生上储”,断层对油气的输导至关重要。从断裂发育的级别来看,研究区的断裂主要分为3个级别。其中,F2断层是陵水凹陷北部边界断裂,是盆地的二级断裂,断裂规

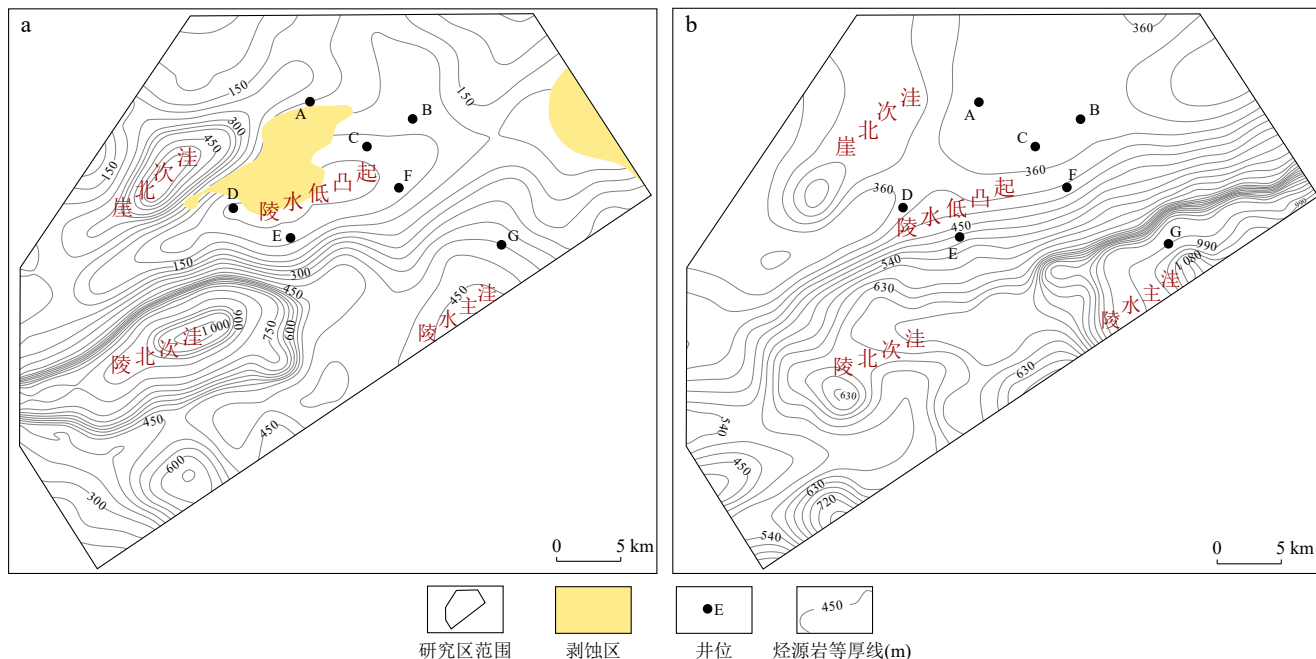


图2 陵水凹陷LS13-2区崖城组(a)和陵水组(b)烃源岩厚度等值线图

Fig. 2 Isopach maps of source rocks in the Yacheng (a) and Lingshui (b) formations of block LS13-2 in the Lingshui Sag

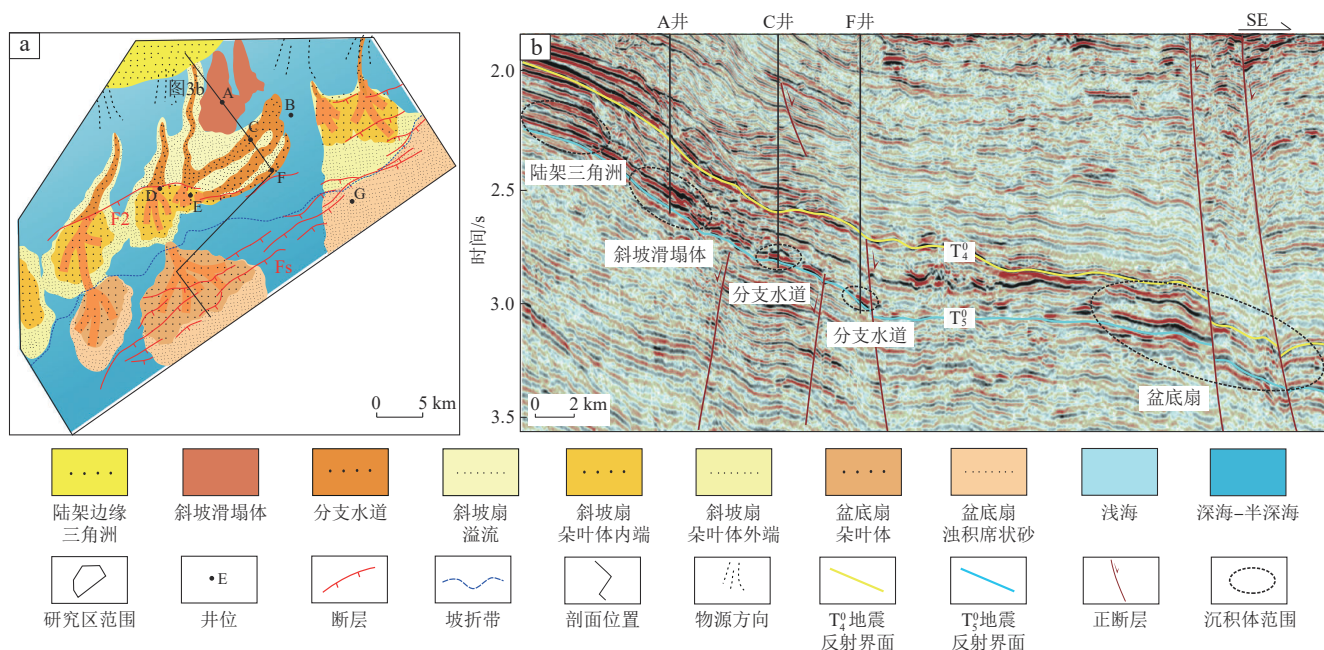


图3 陵水凹陷LS13-2区梅山组沉积相图(a)及斜坡扇和盆底扇典型地震剖面(b)

Fig. 3 Diagram showing the sedimentary facies of the Meishan Formation (a) and typical seismic profile showing slope fans and basin-floor fans (b) in block LS13-2 in the Lingshui Sag

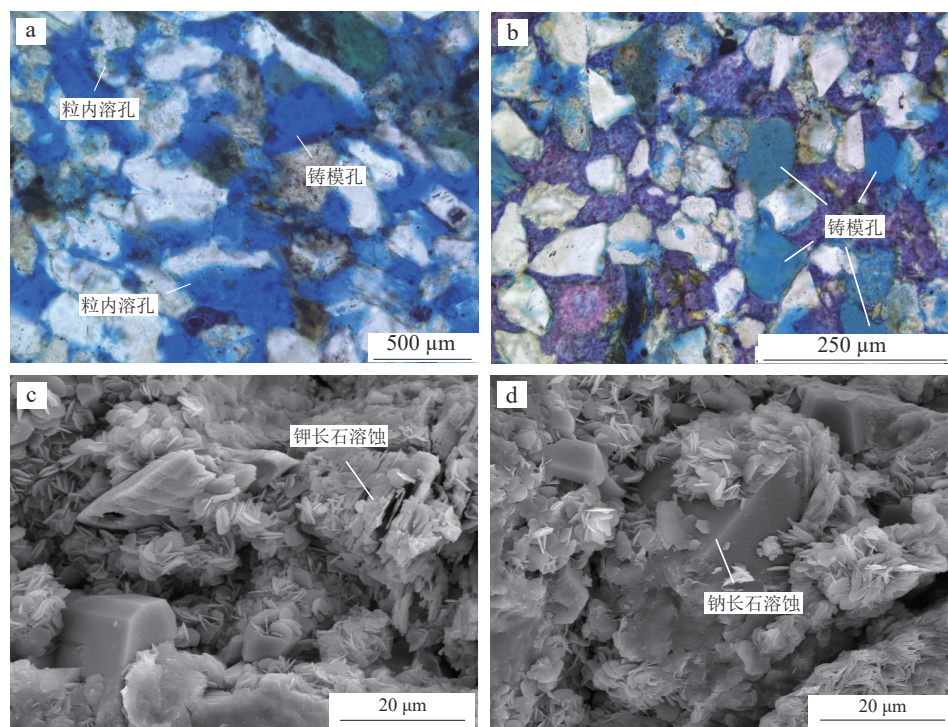


图4 陵水凹陷LS13-2区F井岩心显微照片

Fig. 4 Microscope images of cores from well F in block LS13-2 in the Lingshui Sag

- a. 长石溶蚀形成粒内溶孔、铸模孔,埋深3 794.43 m,铸体薄片;b. 长石溶蚀形成铸模孔,埋深3 797.58 m,铸体薄片;
c. 钾长石溶蚀现象,埋深3 800.16 m,扫描电镜;d. 钠长石少量溶蚀,埋深3 800.75 m,扫描电镜

模较大,向下沟通烃源岩,向上沟通中新统储层,是最主要的油源断裂。三级断层有5条,包括F7断裂、陵北次洼南断裂、陵北大断裂、Fs1和Fs2断裂,其中F7、

陵北次洼南断裂、陵北大断裂为断陷期形成,进入拗陷期后逐渐停止活动;Fs1和Fs2断裂带为拗陷期形成,这些断裂均难以作为直接的油源断裂,但可与其它断

层组合输导。四级及五级断裂较多,但均为层间断裂,断层输导作用弱。(图5)

从断裂发育期次来看,研究区发育断陷—断—拗—拗陷3期断裂(图5c),并以断陷期为主,持续活动且早、晚期沟通的断裂是拗陷层最有利的输导断裂。结合构造格局和断裂发育特征,工区发育2个断裂垂向有利输导带(图5c):①西部F2断裂带,断裂从断陷期到拗陷期继承发育,断裂沟通了次洼烃源岩和中新统储层,是持续输导断裂;②南部Fs断裂带,虽然以晚期断裂为主,但Fs1断裂与深部断—拗期和断陷期断裂纵向耦合好,油气可沿着断裂垂向接力输导。

2.4 保存条件

研究表明,琼东南盆地中新统储层的区域盖层主要有3套:三亚组上部泥岩、梅山组上部泥岩以及黄流组上部—莺歌海组泥岩^[16],探区在保存条件上具有盖层条件好、超压发育、晚期断裂破坏作用小的优势。根据已钻井资料显示,探区梅山组—莺歌海组区域盖层厚度较大,其中钻遇黄流组最厚可达727 m,单层泥岩最厚可达87 m,泥/地比94%;钻遇莺歌海组最厚可达1 736 m,单层泥岩最厚可达86 m,泥/地比96%。从超压发育角度来看,现今自黄流组开始发育超压带,黄流组—梅山组泥

岩剩余压力大,研究区具有很强的封盖能力。另外,虽然研究区南部发育沟通海底的晚期断裂,但断层发育较为局限,影响程度小,研究区整体保存条件有利。

3 勘探思路转变

3.1 关键成藏要素

3.1.1 烃源岩主排烃期与圈闭定型期

陵水凹陷主力烃源岩为渐新世崖城组,分析认为凹陷的大量生气时间早于梅山组有效圈闭的形成时间,成藏匹配不佳,推测梅山组油气藏主要来自于深部原生油气藏的调整。由于陵水凹陷无井钻遇崖城组,利用盆地模拟开展了烃源岩演化分析,结果表明崖城组烃源岩在20 Ma(早中新世)开始大量生气,15~10 Ma(中中新世)达到生、排烃高峰,现今已进入过成熟阶段,烃源岩生、排烃模拟结果与前人的认识基本一致^[17]。从圈闭定型期角度分析,梅山组岩性圈闭形成时间为10 Ma,至5 Ma(晚中新世)黄流组沉积后,梅山组储层具备了盖层的保存条件,因此圈闭定型期为5 Ma左右。根据梅山组流体包裹体特征分析,陵水凹

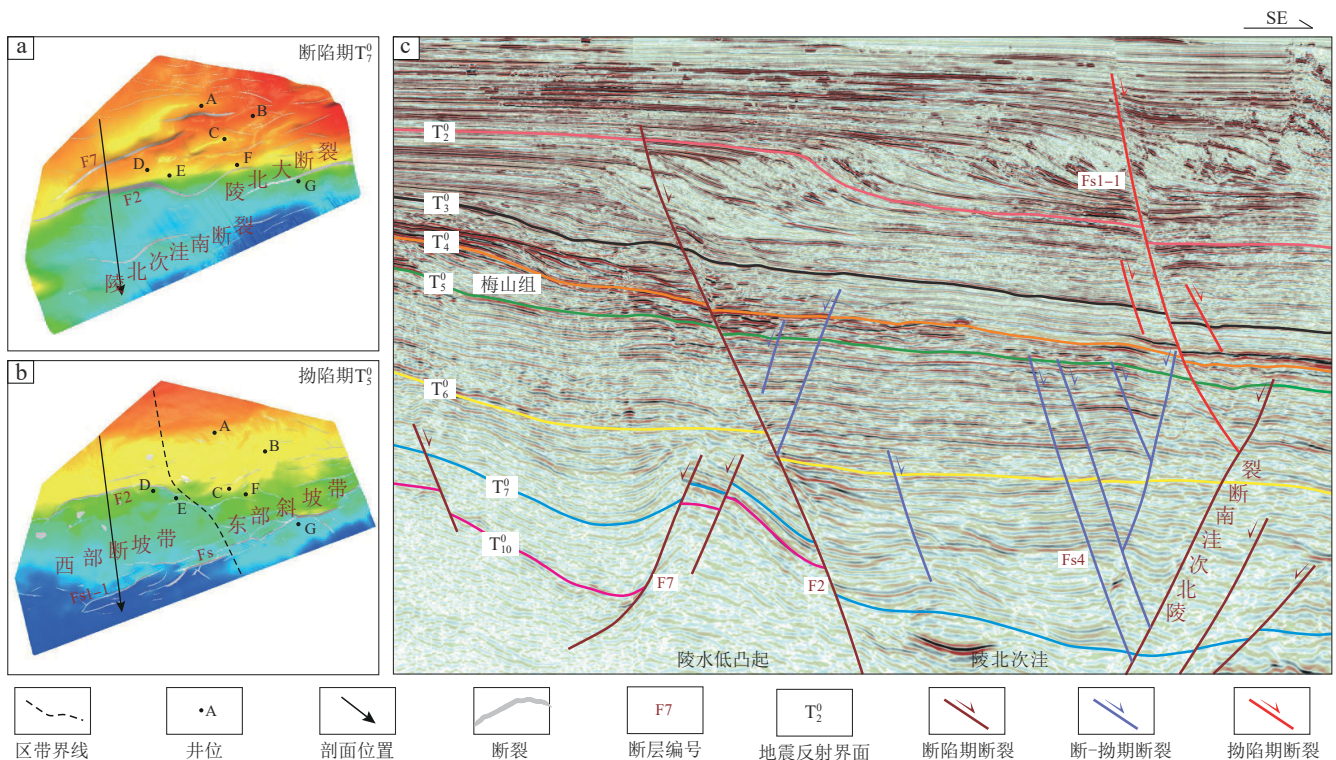


图5 陵水凹陷LS13-2区断陷层(a)、拗陷层构造格局(b)与西部典型地震剖面(c)

Fig. 5 Tectonic framework of the downfaulted (a) and down-warped (b) layers, and typical seismic profile of the western portion (c) of block LS13-2 in the Lingshui Sag

陷北坡梅山组油气充注时间在4.8~2.0 Ma左右^[5], 同样表明梅山组岩性圈闭的定型期和油气充注时期晚于崖城组主力烃源岩生、排烃高峰期。因此, 深部原生油气藏的发育对中、浅部次生油气藏的形成和富集具有重要作用。

3.1.2 断层发育特征和垂向输导能力

琼东南盆地进入拗陷期后, 断裂逐渐停止发育, 垂向活动速率降低。根据前文的输导条件分析, 认为F2断裂带是规模最大的输导断裂带。F2断裂带(图5c)在剖面上表现为坡坪式, 断层向下断至基底, 向上断穿T₃界面(黄流组顶面), 与陵北次注南断裂共同控制陵北次注的沉积。对F2断层活动速率进行分析认为: ①垂向上, 由断陷层向拗陷层断层活动速率逐渐降低, 由100~320 m/Ma降至0~10 m/Ma, 拗陷层三亚组活动速率明显高于梅山组, 因此断层垂向输导能力逐渐降低; ②平面上, 断层东部和西部也有差异, 表现为西部活动速率最大, 东部其次, 西部梅山组、三亚组活动速率为5~30 m/Ma, 因此F2断层西部输导能力强于东部。综合分析认为, 断层垂向输导能力由断陷层向拗陷层逐渐降低, 三亚组相比梅山组更有利, 且输导能力西部优于东部。

3.2 勘探思路转变

通过对比中国近海盆地不同凹陷的成藏特点, 认为琼东南盆地陵水凹陷与东海陆架盆地西湖凹陷可进行类比: ①均为断-拗盆地, 构造演化均受到太平洋板块俯冲后退的影响, 纵向发育3期主要的断裂; ②在断陷层均发育海-陆过渡相沉积环境, 形成了煤系烃源岩, 均以生气为主; ③均发育渐新统、中新统多套储-盖组合。

进一步分析认为, 陵水凹陷北坡的油气成藏特点与西湖凹陷中央背斜带具有较大的相似性^[18-21]: ①均为“下生上储”, 油气均以垂向输导为主。西湖凹陷中央背斜带勘探结果显示, 近烃源岩下部层系油气更富集, 渐新统花港组油气富集程度高于上部中新统。②均具有烃源岩排烃期早于圈闭定型期的特点。西湖凹陷勘探实践表明, 深部原生油气藏控制了浅层次生油气藏的富集程度。

基于研究区关键成藏要素分析, 结合与西湖凹陷油气成藏的类比, 认为需要转变研究区勘探思路, 提出了纵向层系、烃源距离、平面位置、成藏期次及输导特征5个方面的转变, 建立了陵水凹陷北坡次生油气藏勘探模式(图6), 并进一步提出“早期油气成藏有利区、断-砂输导有利区、岩性圈闭发育有利区”的叠合区为油气富集区带。

4 区带评价及突破方向

综合上述构造和沉积特征分析, 将中新统成藏区带划分为西部断坡海底扇区带和东部斜坡海底扇区带。其中, 西部断坡海底扇区带在构造特征上表现为F2断层和Fs1断层共同控制的断坡, 而东部斜坡海底扇区带在构造特征上则表现为斜坡特征, 断层规模较小, 两者均主要发育斜坡扇和盆底扇沉积。通过对这2个成藏区带关键要素分析, 进一步明确了西部断坡海底扇区带成藏条件更好, 为主要突破方向。

4.1 早期油气成藏有利区

上述烃源岩演化分析表明, 崖城组烃源岩生、排烃高峰期为20~15 Ma(三亚组沉积时期), 此时断陷层中陵水组和崖城组已具备了基本储-盖条件, 而由于陵水组三段(陵三段)是断陷层主要储层发育段^[22], 与

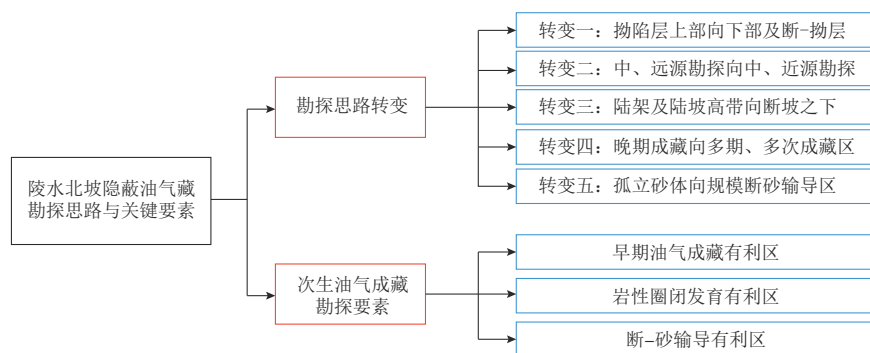


图6 陵水凹陷北坡勘探思路转变

Fig. 6 Changes of hydrocarbon exploration philosophy for the northern slope of the Lingshui Sag

上覆陵一段-陵二段泥岩组成了良好的储-盖组合,因此是寻找早期油气藏的主要层系。本次研究首先恢复了陵三段在15 Ma的古构造,结合了沉积体系的发育特征和输导体系特征,综合圈定了2个早期成藏的有利区。

从陵三段古构造背景来看,15 Ma陵三段发育南、北2个背斜带,北部背斜带主要发育在陵水低凸起之上,南部背斜带是陵水次洼内的披覆背斜带(图7)。另外,在东部斜坡背景下发育多个小型构造脊,这些地区均具备较好的油气汇聚背景。从陵三段沉积体系分析来看,由于陵水低凸起也接受了陵水组沉积,推测其供源能力弱,而东部松涛隆起和西部崖城凸起供源能力更强,可以向探区供物源。根据探区地震相和振幅属性分析结果,探区为东、西双向物源体系下的扇三角洲和辫状河三角洲沉积体系,其中西部物源体系在F2断层控制的陡坡背景下发育扇三角洲平原和前缘沉积环境,而在断阶缓坡背景下发育辫状河三角洲平原和前缘沉积环境。基于构造和沉积的耦合分析,推测西部陡坡背景下发育背斜构造、岩性、构造-岩性复合圈闭等多种圈闭类型,其中F2断层上升盘、南部披覆背斜带发育构造及构造-岩性圈闭,F2断层下降盘发育

岩性圈闭;同时东部斜坡背景也发育背斜、断层-岩性复合等多种圈闭类型。通过油气输导条件进一步分析,认为存在东、西2个早期成藏有利区,其中西北部推测主要发育F2大断层输导形成的背斜和透镜体岩性油气藏,西南部发育披覆背斜背景的构造和构造-岩性复合油气藏,主要输导断裂为陵北次洼南断裂;东部在断阶背景下,断-砂逐级输导形成中-小型断层-岩性复合油气藏。西部区带原生油气藏的发育条件优于东部(图8)。

4.2 岩性圈闭发育有利区

通过勘探思路转变,认为研究区主要目的层系为梅山组和三亚组。梅山组和三亚组构造和沉积背景相似,均发育斜坡扇-盆底扇沉积体系,具备储层发育基础。通过构造-沉积耦合分析,认为研究区主要发育2种岩性圈闭类型:①斜坡扇与断层耦合形成的断层-岩性复合圈闭;②盆底扇受坡折控制形成的上倾尖灭圈闭。由于研究区扇体发育受断层和坡折的共同控制,因此认为西部断坡带F2断层下降盘和挠曲坡折下倾方向是规模岩性圈闭发育区。

梅山组主要发育海南岛陵水河物源向前推进形成

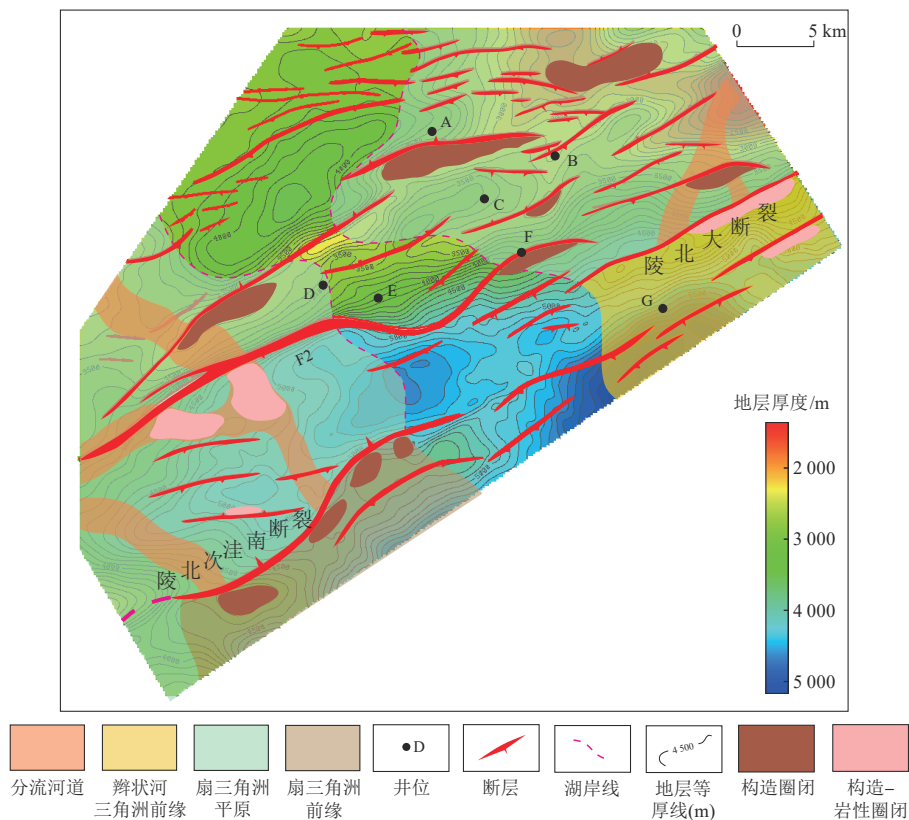


图7 陵水凹陷LS13-2区早期油气成藏发育区预测

Fig. 7 Mapping of early hydrocarbon accumulation in block LS13-2 in the Lingshui Sag

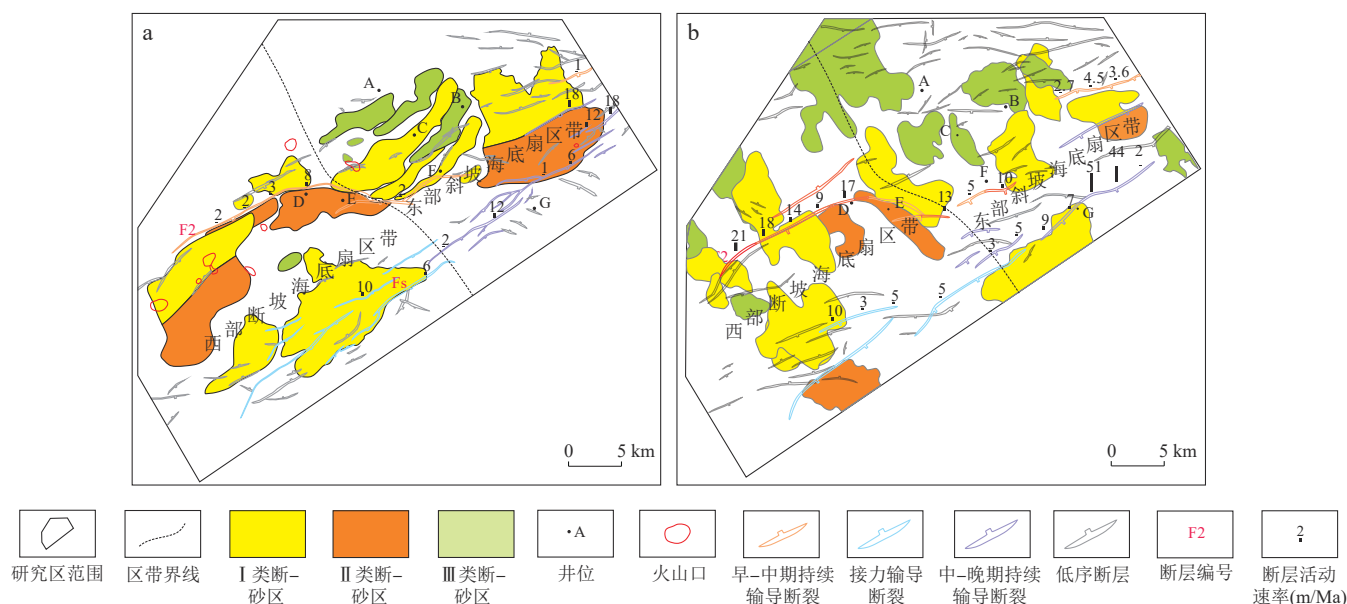


图8 陵水凹陷LS13-2区梅山组(a)和三亚组(b)岩性圈闭与断-砂输导综合评价图

Fig. 8 Maps showing the comprehensive assessment of lithologic traps and fault-sand body carrier systems in the Meishan (a) and Sanya (b) formations of block LS13-2 in the Lingshui Sag

的斜坡扇和盆底扇沉积体系,陆架三角洲和输砂通道耦合,陵水凹陷北坡发育东、西双向沟渠,研究区处于2个沟渠影响的沉积交汇区^[23-26]。通过对梅山组沉积体系研究,认为梅山组沉积时期发育完整的陆架—陆坡—深海平原构造背景,研究区在陆架坡折线和陆坡坡脚线控制下发育了东、西双向沟渠形成的斜坡扇和盆底扇(图3a,图8a),其中东部沟渠输送的物源偏细(在研究区南部的钻井证实了以泥质为主),而西部沟渠物源更粗(研究区西侧的钻井证实发育粗粒的中砂岩)。因此推测,研究区西部断坡带F2断层下倾方向的斜坡扇和盆底扇物源粒度更粗、扇体规模更大。

对于三亚组沉积体系而言,目前其研究程度较低,但分析认为三亚组与梅山组构造、沉积背景相似,且由于三亚组为拗陷初期,陆架—陆坡背景尚未完全形成,断层控制沉积作用更强。通过地震相分析,认为三亚组发育北部物源供给形成的斜坡扇和盆底扇沉积体系,且研究区北部钻井证实了三亚组高部位陆架三角洲的发育,三角洲向前推进时,在工区内会受到F2断层控制,造成砂体规模卸载,形成大型斜坡扇沉积,同时少量物源继续推进至远端,形成盆底扇(图8b)。

综上,研究区西部断坡海底扇区带F2断层控制下发育梅山组和三亚组的规模斜坡扇,与断层形成断层—岩性复合圈闭;南部挠曲坡折控制下发育梅山组和三亚组规模盆底扇,形成岩性上倾尖灭圈闭,是研究区岩性圈闭发育的最有利区。

4.3 断-砂输导有利区

输导体系是连接早期油气藏和晚期圈闭的主要桥梁。研究区拗陷期断层整体发育少,寻找规模断裂发育区至关重要。断层定性和定量分析表明,探区西部断坡海底扇F2断裂带为继承性输导断层,南部Fs断裂与断陷层陵水组和崖城组的断裂组合为接力输导断裂,为最有利输导区(图5c)。

通过对研究区断层输导进行研究,认为主要分为4类输导断层:早—中期持续输导断层、接力输导断层、中—晚期持续输导断层和低序级弱输导断层。其中,F2断层为早—中期持续输导型,为最有利输导断层;其次为南部Fs1断层与深部陵水次洼南断裂组成的接力输导断裂,相对有利;而东南部Fs2断层为中—晚期持续输导断层,与早期成藏匹配差,输导能力一般;其余断层多为低序断层,输导能力弱。另外,通过对梅山组成藏期(5.3 Ma)和三亚组(10 Ma)成藏期断层活动速率进行分析,认为F2断层在三亚组活动速率更高,为10~20 m/Ma,而在梅山组活动速率小于10 m/Ma,因此,F2断层在三亚组成藏期输导能力更强(图8)。

断层和砂体组合方式控制了油气运聚方向^[27]。通过断—砂耦合研究认为研究区共发育3类断—砂组合。I类断—砂组合特点为:海底扇水道、朵叶砂体—早中期持续输导断层或接力输导断层—砂体位于油源断层上倾方向,该类组合输导效率最高。II类断—砂

组合特点为:海底扇水道、朵叶砂体-早中期持续输导断层或接力输导断层-砂体位于油源断层下倾方向,或者海底扇水道、朵叶砂体-中晚期持续输导断层-砂体位于油源断层上倾或下倾方向,该类组合输导效率一般。Ⅲ类断-砂组合特点为:海底扇水道或朵叶砂体-低序级弱输导断层-砂体位于油源断层上倾或下倾方向,该类组合输导效率最低。其中F2断裂带与砂体配置好,断层两盘均为Ⅰ类断-砂输导区;南部Fs1断层与深部断裂组合形成“花状”输导体系,运聚有利,也发育Ⅰ类断-砂输导区(图8,图9);而东部斜坡带断裂与砂体倾向一致,优势运移方向为断裂上升盘,有利汇聚面积小,且断层多为中晚期持续输导断层,以发育Ⅱ类断-砂输导区为主。其余地区断裂发育程度弱,以Ⅲ类断-砂输导区为主。因此,综合断层输导能力、断-砂配置方式判断,研究区西部断坡海底扇F2断裂带和Fs断裂带断-砂输导能力强,是最有利断-砂输导区。

4.4 有利区带

综合原生油气藏发育区、岩性圈闭发育有利区和断-砂输导有利区的耦合研究,进一步明确了探区西

部断坡海底扇区带为最有利成藏区带,并存在2个有利部位:①F2断裂带两盘,具有“深部早期岩性油气藏、中新统规模斜坡扇、早-中期持续输导断裂带”的优势成藏条件;②南部Fs断裂带,具有“深部披覆背斜油气藏、中新统规模盆底扇、接力输导断裂带”的优势成藏条件(图9)。通过对探区西部有利区带岩性圈闭刻画,落实有利圈闭资源量近千万方,认为该区是研究区油气规模突破的首要方向。

5 结论

1) 通过对研究区油气成藏条件研究,认为研究区具备“充足烃源、规模储层、高效输导、整体保存”的大-中型油气田形成基础。

2) 通过对研究区关键成藏要素分析,认为研究区中新统岩性圈闭勘探存在烃源岩主排烃期早于圈闭定型期和断层纵向输导能力弱的不利因素,据此进行了勘探思路的转变,提出了“早期成藏、岩性圈闭、断-砂输导”三元勘探关键要素。

3) 区带评价认为,探区西部断坡海底扇区带具备“原生油气藏、规模岩性圈闭、断-砂高效输导”的有利

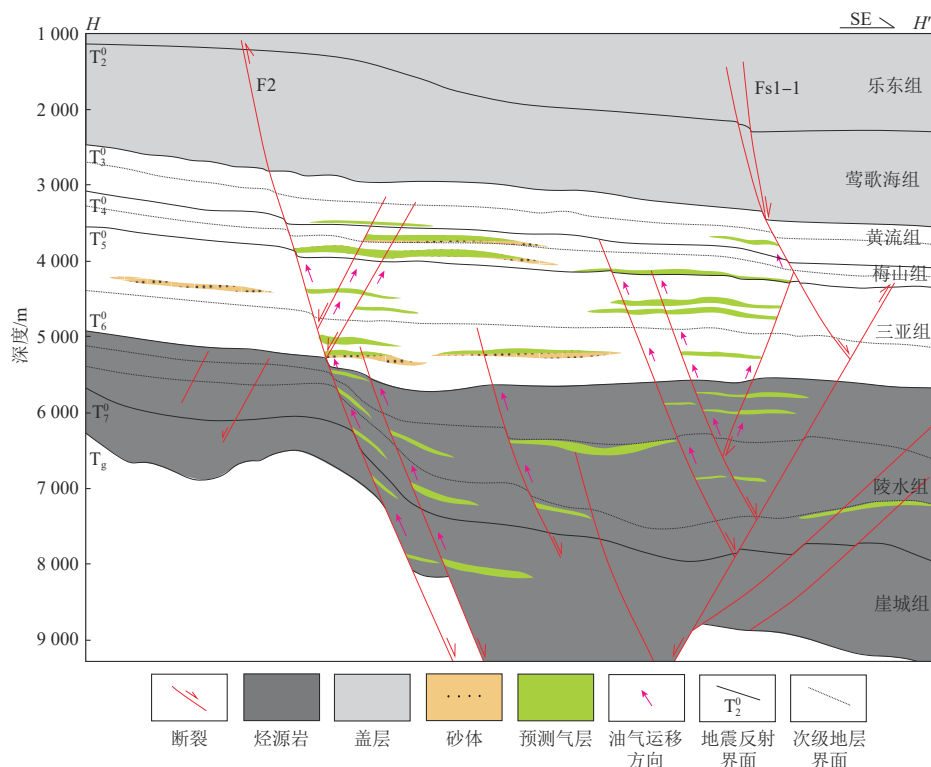


图9 陵水凹陷LS13-2区西部断坡海底扇区带断-砂输导和油气成藏模式

Fig. 9 Fault-sand body carrier system and hydrocarbon accumulation pattern of the submarine fan zone on the western ramp of block LS13-2 in the Lingshui Sag
(剖面位置见图1b。)

成藏条件,为最有利成藏区带,发育F2断裂和Fs1断裂2个优势区,并落实岩性圈闭资源量近千亿方,为油气规模突破的有利区。

参 考 文 献

- [1] 雷超,任建业,李绪深,等. 琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 560-569.
LEI Chao, REN Jianye, LI Xushen, et al. Structural characteristics and petroleum exploration potential in the deep-water area of the Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(5): 560-569.
- [2] 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.
- [3] 张贺举,高弘毅,程宝庆,等. 南海北部琼东南盆地大中型气田天然气运聚成藏特征对比及启示[J]. 广东石油化工学院学报, 2023, 33(3): 7-12.
ZHANG Heju, GAO Hongyi, CHENG Baoqing, et al. Comparison and enlightenment of typical accumulation characteristics of large oil and gas fields in Qiongdongnan Basin [J]. Journal of Guangdong University of Petrochemical Technology, 2023, 33(3): 7-12.
- [4] 郑磊,闫琢玉,李冬林,等. 琼东南盆地陵水凹陷储层物性特征对比分析[J]. 石化技术, 2021, 28(8): 135-136, 148.
ZHENG Lei, YAN Zhuoyu, LI Donglin, et al. Comparative analysis of reservoir physical properties in Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin [J]. Petrochemical Industry Technology, 2021, 28(8): 135-136, 148.
- [5] 尤丽,江汝锋,徐守立,等. 琼东南盆地深水区乐东-陵水凹陷梅山组天然气成藏特征与勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2021, 33(5): 24-31.
YOU Li, JIANG Rufeng, XU Shouli, et al. Accumulation characteristics and exploration potential of Meishan Formation gas in Ledong-Lingshui Sag, deep water area of Qiongdongnan Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(5): 24-31.
- [6] 甘军,梁刚,李兴,等. 琼东南盆地梅山组海底扇天然气成因类型及成藏模式[J]. 地质学报, 2022, 96(3): 1069-1078.
GAN Jun, LIANG Gang, LI Xing, et al. Genetic types and accumulation model of submarine fan gas in the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(3): 1069-1078.
- [7] 尹露. 琼东南盆地中北部含煤层系沉积演化与烃源岩发育沉积模式研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
YIN Lu. Study on sedimentary evolution of coal-bearing system and sedimentary model of source rock development in the central and northern part of Qiongdongnan Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [8] 梁刚,甘军,李兴. 琼东南盆地陵水凹陷天然气成因类型及来源[J]. 中国海上油气, 2015, 27(4): 47-53.
LIANG Gang, GAN Jun, LI Xing. Genetic types and origin of natural gas in Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(4): 47-53.
- [9] 黄合庭,税蕾蕾,陈金定,等. 琼东南盆地陵水13-2气藏凝析油生物标志物检测及油气源对比[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(8): 8-12, 4.
HUANG Heting, SHUI Leilei, CHEN Jinding, et al. The detection of biomarkers and their application in hydrocarbon source correlation of condensate oil from Lingshui 13-2 gas reservoir in Qiongdongnan Basin [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2019, 16(8): 8-12, 4.
- [10] 何春民. 琼东南盆地深水区烃源岩地球化学特征、生烃演化及气源追踪[D]. 广州: 中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所), 2020.
HE Chunmin. Geochemistry and hydrocarbon generation of source rocks and origins of natural gases in the deepwater area of the Qiongdongnan Basin [D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2020.
- [11] 欧阳杰,胡斌,杨金海,等. 琼东南盆地陵水凹陷S2井区梅山组物源[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2023, 50(2): 200-205.
OUYANG Jie, HU Bin, YANG Jinhai, et al. Provenance analysis of Meishan Formation in the Well S2 region of Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2023, 50(2): 200-205.
- [12] 闫琢玉,李建平,龚胜利,等. 琼东南盆地北部梅山组浊积扇砂组构特征与物源体系差异[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(12): 2087-2100.
YAN Zhuoyu, LI Jianping, GONG Shengli, et al. Sand fabric characteristics and provenance system differences of turbidite fan from the Meishan Formation in the northern Qiongdongnan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2023, 34(12): 2087-2100.
- [13] 苏榆丰. 琼东南盆地深水区大型海底扇发育特征与形成条件研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2018.
SU Yufeng. Developmental characteristics and forming conditions of the large submarine fan in deepwater area of Qiongdongnan Basin [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2018.
- [14] 朱沛苑,尤丽,元庆涛,等. 乐东-陵水凹陷梅山组海底扇储层物性与孔喉结构[J]. 天然气技术与经济, 2018, 12(5): 1-4, 64.
ZHU Peiyuan, YOU Li, YUAN Qingtao, et al. Petrophysical property and pore-throat structure of submarine-fan reservoirs in Meishan Formation, Ledong-Lingshui Sag [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2018, 12(5): 1-4, 64.
- [15] 陈一鸣,谢明英,闫正和,等. 珠江口盆地恩平凹陷海相高泥质砂岩储层特征及主控因素[J]. 石油地质与工程, 2022, 36

- (1): 14-19.
CHEN Yiming, XIE Mingying, YAN Zhenghe, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors of marine high argillaceous sandstone in Enping Sag of Pearl River Mouth Basin [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2022, 36(1): 14-19.
- [16] 张功成, 纪沫, 陈莹, 等. 琼东南盆地“气聚集带”的成藏特征与勘探潜力[J]. *石油学报*, 2024, 45(1): 226-240.
ZHANG Gongcheng, JI Mo, CHEN Ying, et al. Accumulation characteristics and exploration potentials of gas accumulation belt in Qiongdongnan Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2024, 45(1): 226-240.
- [17] 唐文威. 琼东南盆地陵水凹陷天然气成藏特征及主控因素[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2019.
TANG Wenwei. Reservoirs characteristics and main factors controlling natural gas accumulation in Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2019.
- [18] 周荔青, 江东辉, 张尚虎, 等. 东海西湖凹陷大中型油气田形成条件及勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2020, 42(5): 803-812.
ZHOU Liqing, JIANG Donghui, ZHANG Shanghu, et al. Formation conditions and exploration direction of large and medium oil and gas reservoirs in Xihu Sag, East China Sea [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2020, 42(5): 803-812.
- [19] 徐陈杰, 叶加仁, 刘金水, 等. 东海西湖凹陷天然气成藏时期的关键证据: 气烃包裹体[J]. *天然气工业*, 2021, 41(11): 64-73.
XU Chenjie, YE Jiaren, LIU Jinshui, et al. Key evidence of gas accumulation period in Xihu Sag of the East China Sea Shelf Basin: Gas hydrocarbon inclusion [J]. *Natural Gas Industry*, 2021, 41(11): 64-73.
- [20] 周荔青, 江东辉, 周兴海, 等. 东海西湖凹陷西斜坡断层-岩性油气藏富集评价体系与勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2022, 44(5): 747-754.
ZHOU Liqing, JIANG Donghui, ZHOU Xinghai, et al. Evaluation system and exploration optimization for fault-lithologic reservoir on the western slope of Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2022, 44(5): 747-754.
- [21] 陈忠云, 杜学斌, 李帅. 东海西湖凹陷平湖斜坡带平湖组沉积体系平面分区特征及差异性展布[J]. *石油实验地质*, 2022, 44(5): 780-789.
CHEN Zhongyun, DU Xuebin, LI Shuai. Distributional signatures of depositional system of Pinghu Formation, Pinghu slope, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2022, 44(5): 780-789.
- [22] 赵东娜, 朱筱敏, 林金成, 等. 南海琼东南盆地崖13-1气田古近系陵水组海陆过渡带沉积特征及演化[J]. *古地理学报*, 2014, 16(3): 385-400.
ZHAO Dongna, ZHU Xiaomin, LIN Jincheng, et al. Sedimentary characteristics and evolution of transitional belt of the Paleogene Lingshui Formation in Ya13-1 Gasfield of Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 2014, 16(3): 385-400.
- [23] 李胜勇, 胡林, 杨希冰, 等. 琼东南盆地梅山组海底扇成因演化特征与勘探建议[J]. *海洋地质前沿*, 2023, 39(1): 18-30.
LI Shengyong, HU Lin, YANG Xibing, et al. Genetic evolution and exploration strategy of submarine fan in the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2023, 39(1): 18-30.
- [24] 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.
- [25] 罗泉源, 焦祥燕, 刘昆, 等. 乐东-陵水凹陷梅山组海底扇识别及沉积模式[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2020, 40(2): 90-99.
LUO Quanyuan, JIAO Xiangyan, LIU Kun, et al. Identification of submarine fan in the Meishan Formation of the Ledong-Lingshui Sag in the Qiongdongnan Basin and its depositional model [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2020, 40(2): 90-99.
- [26] 李建平, 贾万丽, 李宏义, 等. 物源-地貌双控背景下海底扇沉积储层特征及勘探意义: 以琼东南盆地梅山组为例[J]. *地质科学*, 2024, 59(1): 148-165.
LI Jianping, JIA Wanli, LI Hongyi, et al. Sedimentary reservoir characteristics and exploration significance of submarine fan under the dual control of provenance and geomorphology: Taking the Meishan Formation in Qiongdongnan Basin as an example [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2024, 59(1): 148-165.
- [27] 廖文毫, 陈冬霞, 曾溅辉, 等. 歧口凹陷埕北断阶区断砂组合样式及其对油气富集的控制作用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2021, 51(2): 336-354.
LIAO Wenhao, CHEN Dongxia, ZENG Jianhui, et al. Configuration types of fault-sand in Chengbei fault terrace zone of Qikou Sag and its control on hydrocarbon accumulation [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2021, 51(2): 336-354.

(编辑 张玉银)