

文章编号: 0253-2697(2013)S2-083-08 DOI: 10. 7623/syxb2013S2010

琼东南盆地深水区富气凹陷形成控制因素与勘探实践 ——以陵水凹陷为例

沈怀磊¹ 张功成¹ 孙志鹏² 何玉平¹ 杨东升¹ 张义娜¹

(1. 中海油研究总院 北京 100027; 2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司 湛江 524000)

摘要:琼东南盆地深水区陵水凹陷下渐新统崖城组广泛发育潮坪—潟湖沉积体系,其煤系地层在高地温场背景下广泛生气,是主力烃源岩;中新统莺歌海组—黄流组沉积期琼东南盆地发育中央峡谷水道,横穿陵水凹陷,水道砂体是有利的油气聚集场所,水道砂体周围被广泛发育的半深海—深海相泥岩覆盖,封盖条件优越;热流体成因的底辟带为崖城组煤系地层烃源岩生成的油气运移到莺歌海组—黄流组水道砂体中提供了有效通道。上述因素共同控制了陵水凹陷成为琼东南盆地深水区潜在富气凹陷,勘探发现了陵水1-1气田,显示出良好的资源潜力和勘探前景。

关键词:深水区;陵水凹陷;煤系地层;中央峡谷水道;底辟带;富气凹陷

中图分类号:TE111

文献标识码:A

Formation control factor analysis and exploration practice in gas-rich sag in deep-water areas of Qiongdongnan Basin: a case study of Lingshui sag

SHEN Huailei¹ ZHANG Gongcheng¹ SUN Zhipeng² HE Yuping¹ YANG Dongsheng¹ ZHANG Yina¹

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China; 2. Zhanjiang Branch of CNOOC China Limited., Zhanjiang 524000, China)

Abstract: In the western deep-water area of Qiongdongnan Basin, northern South China Sea, a tidal flat-lagoon sedimentary system was developed widely in the early Oligocene Yacheng Formation of Lingshui sag, where coal measure strata generated gases extensively in high-temperature geothermal fields and served as the major hydrocarbon source rocks. During the depositional period of Miocene Yinggehai-Huangliu Formation, the central canyon was developed across Lingshui sag, providing river-course sand bodies that are favorable spaces for oil and gas accumulation; the periphery of these sand bodies were covered by hemipelagic-abyssal mudstone, showing advantageous sealing and capping conditions. Thermal fluid-related diapirs provided an effective pathway for the migration of oil and gas generated by coal measure strata of the Yacheng Formation to sand bodies of the Yinggehai-Huangliu Formation. Under the joint actions of the above factors, Lingshui sag has evolved into a potential gas-rich sag in the deep-water area of Qiongdongnan Basin. The discovery of Lingshui 1-1 gas field in Lingshui sag demonstrates the source potential and exploration prospects of the sag.

Key words: deep-water area; Lingshui sag; coal measure strata; the central canyon; diapirs; gas-rich sag

琼东南盆地位于南海北部大陆边缘西段,面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,是一个新生代盆地,盆地基底为前寒武纪变质岩和中生代火山岩,基底之上主要沉积了始新统、渐新统、中新统、上新统和第四系,最大地层厚度大于10 km,盆地分为北部拗陷、中部隆起、中央拗陷、南部隆起及南部拗陷等一级构造单元^[1-6]。

琼东南盆地深水区(水深大于500 m)面积占盆地总面积3/4以上,包括主体位于深水区的乐东—陵水凹陷、松南—宝岛凹陷和长昌凹陷,完全在深水区的北

礁凹陷,区域地质分析显示上述深水区凹陷具有良好的生烃、油气聚集、储盖、圈闭条件与油气地震异常显示^[7-9]。近3年,陆续在陵水凹陷深水区、松南低凸起、长昌凹陷深水区 and 北礁凹陷钻探了5口探井,其中在陵水凹陷获得重要突破,探井天然气碳、氧同位素组成分析证实,其天然气成因与崖城13-1气田相似,都为崖城组腐殖型烃源岩生成的凝析油伴生气和煤成气,证实深水区凹陷具有巨大资源潜力和良好勘探前景。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目“南海深水盆地油气资源形成与分布基础性研究”(2009CB219400)、国家重大科技专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(2008ZX05025、2011ZX05025)、国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价项目“南海北部陆坡深水海域油气资源战略调查及评价”(XQ-2004-05)及“南海北部深水区天然气资源战略调查及评价项目”(XQ-2007-05)资助。

第一作者及通信作者:沈怀磊,男,1980年6月生,2004年获中国石油大学(北京)学士学位,2007年获中国石油大学(北京)硕士学位,现为中海油研究总院勘探研究院工程师,主要从事地球物理解释与研究工作。Email: shenhl@cnooc.com.cn

1 勘探概况

陵水凹陷位于琼东南盆地深水区,其北部为陵水低凸起,东部为松南低凸起,南部为陵南低凸起,西与乐东凹陷相邻。陵水凹陷面积约为 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$,是一个新生代沉积凹陷,厚度超过 10 km,主要沉积了始新统、渐新统、中新统、上新统和第四系。陵水凹陷新生代经历了断陷—拗陷期(始新统和渐新统)、热沉降期(中新统)和新构造期(上新统和第四系)3 大构造演化阶段^[10]。

早期对琼东南盆地地质研究中,通过与浅水区凹陷类比预测陵水凹陷始新统应该发育中深湖—深湖相烃源岩^[11-12],烃源岩厚度和面积较大,中深湖—深湖相烃源岩生成的油气可以通过断裂垂向运移到上构

造层扇三角洲砂岩、滨岸砂岩和盆底扇砂岩中成藏,具备良好的勘探潜力。在上述认识的基础上,1995 年在陵水凹陷北部浅水区陵水低凸起上钻探了陵水 4 构造(图 1),主要目的层为中中新统梅山组盆底扇砂岩,认为陵水凹陷中深湖—深湖相烃源岩生成的油气可以通过断裂垂向运移到上构造层中中新统梅山组盆底扇砂岩中成藏,但陵水 4-1 井钻探结果为干井;钻后分析表明钻前预测的砂体确实存在,由于无沟通油气源断裂,缺乏有效运移路径,是其失利的主要原因。2001 年又钻探了陵水 3 构造(图 1),主要目的层同样为中中新统梅山组盆底扇砂岩,陵水 3-1 井录井显示气测异常,测井解释无油气层;钻后分析表明钻前预测的砂体有误,砂体规模和厚度都远小于钻前预测,是其失利的主要原因。

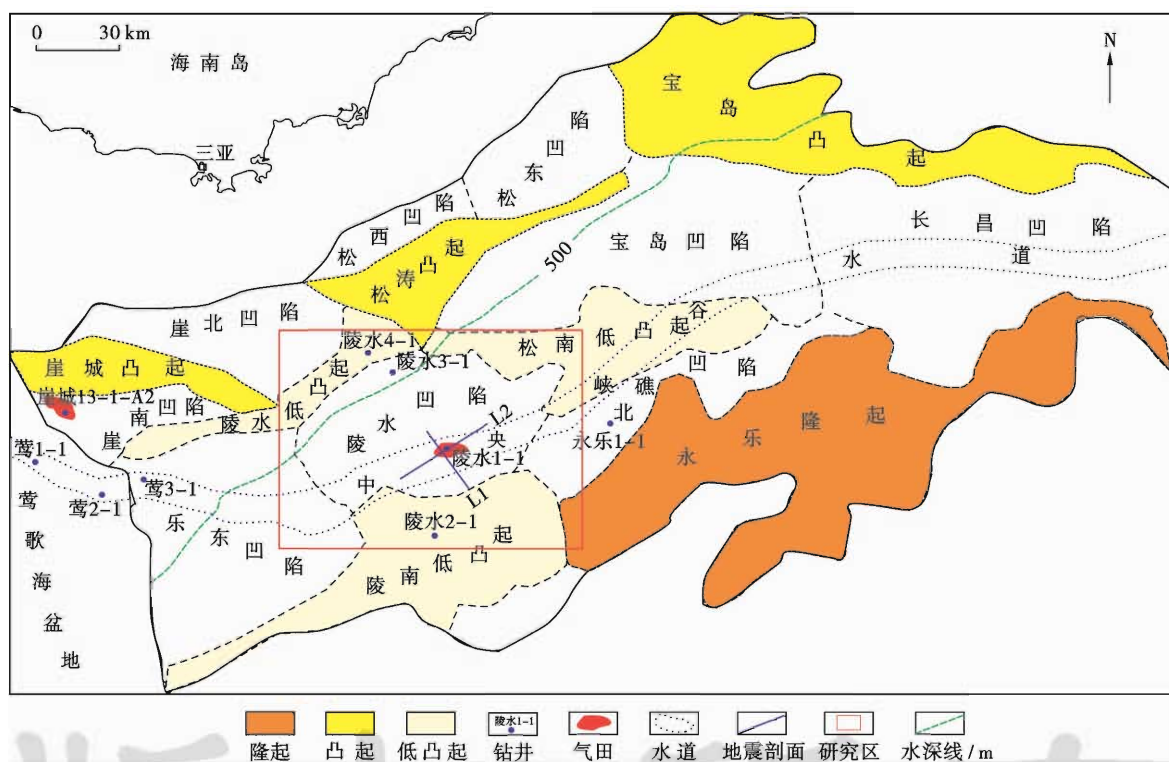


图 1 琼东南盆地深水区陵水凹陷工区位置

Fig. 1 Location of Lingshui sag in deep-water area of Qiongdongnan Basin

接连的钻探失利使陵水凹陷的勘探陷入僵局,早期对陵水凹陷油气成藏主控因素的认识存在一定局限性,必须重新对陵水凹陷勘探领域和勘探方向进行研究和梳理。笔者基于大量研究工作基础上,重点分析琼东南盆地深水区陵水凹陷油气形成控制因素,并经勘探实践获得了重要发现。

2 下渐新统崖城组煤系烃源岩是形成富气凹陷的基础

邻近陵水凹陷的崖南凹陷于 1983 年发现了中国

海域最大的崖城 13-1 气田,天然气地球化学研究表明,其烃源岩主要为下渐新统崖城组煤系的贡献^[13]。虽然陵水凹陷勘探未取得突破,但对其烃源岩地质条件的研究一直未中断。前人研究认为与陵水凹陷相邻的浅水区崖南凹陷和崖北凹陷下渐新统崖城组发育潟湖—潮坪相沉积环境^[14-16],陵水凹陷与上述凹陷类似,崖城组沉积时期凹陷都被低凸起、凸起和隆起所包围,且都有开口与外海连通,为半封闭沉积环境,笔者通过对崖南凹陷钻井取心研究,揭示崖城组沉积时期为潟湖—潮坪相环境,补充了前人研究结论。鉴于崖南凹

陷和崖北凹陷崖城组沉积环境研究结论,结合对区域地震相和区域构造演化特征,判定陵水凹陷崖城组沉积环境为潟湖—潮坪相。

2.1 崖城组钻井取心沉积特征

崖南凹陷崖城 13-1-A2 井下渐新统崖城组进行了全井段钻井取心,泥岩和泥质粉砂岩可见波状层理、透镜状层理和块状层理,局部可见轻微的扰动现象(图 2),上述构造特征反映了高能的水动力条件。如图 2 所示,取心深度段 4072.3~4066.3 m 上部可见煤层约 4 cm,中部煤层约 6 cm,下部煤层约 10 cm,煤层顶、底板均为泥岩,与煤层为过渡接触,泥岩中富含植物碎屑,说明沉积水体不深,为潮坪沼泽环境;从煤岩煤质上看,3 个煤层均为高灰高硫^[17-18],说明煤层沉积时期受水动力较强的水体影响。

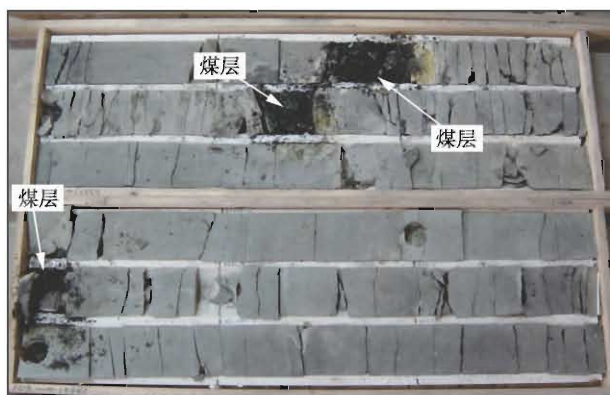


图 2 崖城 13-1-A2 井取心段岩性特征

Fig. 2 Lithology characteristics of the Well YC13-1-A2 coring

2.2 崖城组地震相特征

陵水凹陷下渐新统崖城组(T70—T100)在地震剖面上表现为强振幅中连续的地震反射特征(图 3),通过地震资料波阻抗反演进行强振幅中连续地震相的横向追踪,确定了其空间展布规律和有利发育区,该地震相分布面积广,约 4 000 km²,最大厚度可达 1 000 m。

2.3 崖城组沉积相平面展布

陵水凹陷下渐新统崖城组是一准封闭型的海湾,由一系列的古凸起(陵水低凸起、陵南低凸起和松南低凸起)构成了障壁海岸沉积环境,将凹陷与外海分隔形成了潟湖,主要发育潟湖—潮坪沉积体系,凹陷中心发育潟湖,周缘发育的大规模强振幅中连续的地震相,为潮坪和三角洲沉积,煤系烃源岩主要形成于潮坪和三角洲平原环境(图 3)。崖城组海平面变化经历了一个完整的旋回,即低水位体系域→海进体系域→海退体系域。

下渐新统下段(崖城组三段)凹陷断裂开始活动,水体相对较浅,沉积物供应充分并向凹陷中心堆积。

凹陷缓坡带发育扇三角洲沉积,凹陷陡坡带断裂下降盘发育近岸水下扇,凹陷中心发育小规模潟湖。

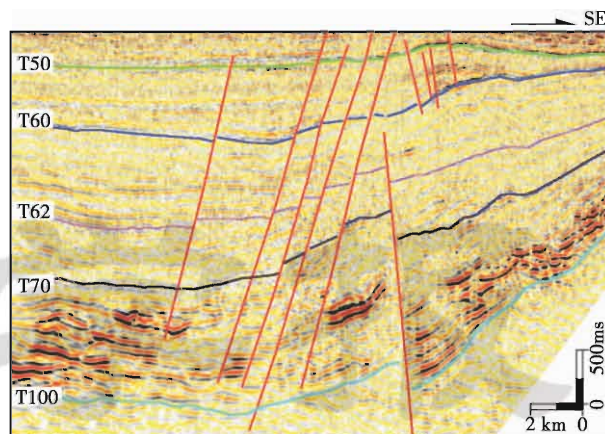


图 3 地震测线 L1 反射特征(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Seismic reflection characteristics of line L1(location see Fig. 1)

下渐新统中段(崖城组二段)海平面上升,水体加深,沉积环境以潟湖为主,在凹陷陡坡带断裂下降盘发育扇三角洲,凹陷洼槽处发育潟湖,围绕潟湖有潮坪发育。

下渐新统上段(崖城组一段)基本保持了中期的沉积面貌。海平面下降,水体变浅,沉积物向凹陷中心迁移,潟湖面积较早渐新世中期减少,凹陷周缘潮坪面积扩大(图 4)。

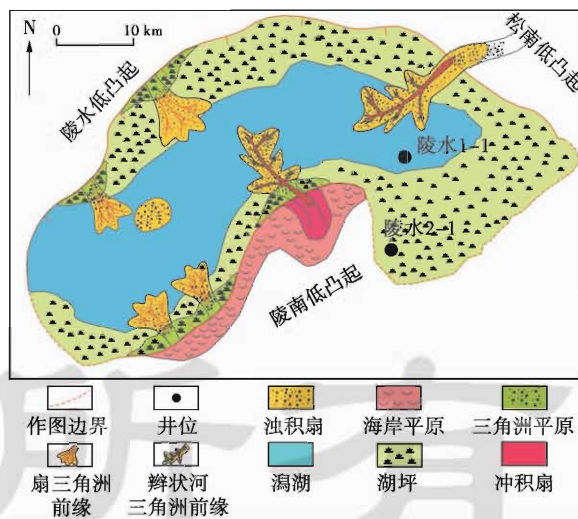


图 4 陵水凹陷崖城组一段沉积相平面分布

Fig. 4 Sedimentary facies of the first member of Yacheng Formation in Lingshui sag

2.4 煤系地层分布及热演化特征

聚煤作用随着海平面的变化发生有规律的迁移,海进时期,潮坪环境向远离潟湖方向迁移,聚煤环境也随着迁移,聚煤范围有所减小;海退时期,潮坪环境向潟湖推进,煤层也随之向潟湖方向迁移,聚煤环境范围扩大(图 5)。聚煤作用主要发生在缓坡带,虽然陡坡

带也有潮坪环境,但其相带窄、环境变化快,不利于聚煤作用的发生。

煤层分布主要受沉积相的控制,陵水凹陷崖城组三段煤层发育,主要形成于扇三角洲平原,岩性为厚层中粗粒砂岩夹薄层泥岩和煤层,在地震剖面上表现为

强振幅中连续地震相(图 3);崖城组二段以潟湖环境为主,发育大套泥岩,该时期烃源岩主要是潟湖相暗色泥岩;崖城组一段凹陷周缘为潮坪相沉积,岩性有暗色泥岩和细粒砂岩夹薄煤层构成,具有分布范围广和沉积规模大的特点。

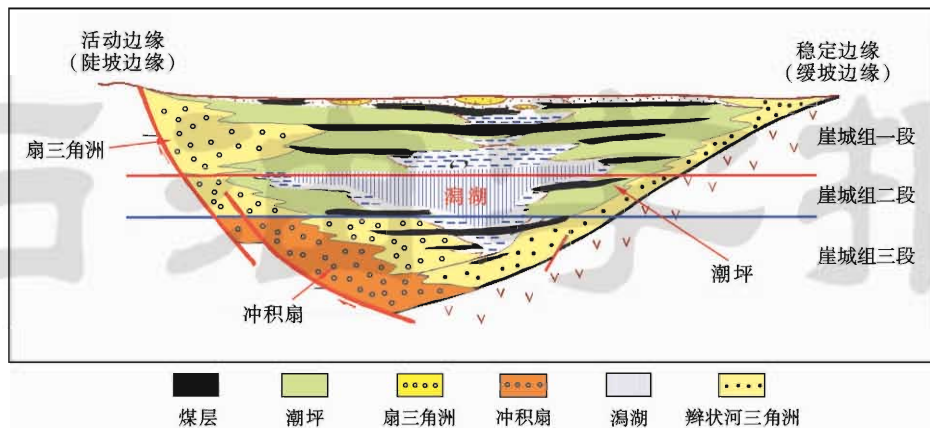


图 5 陵水凹陷崖城组沉积模式及煤系地层发育特征

Fig. 5 Sedimentary model and coal measure strata characteristics of Yacheng Formation in Lingshui sag

高地温场使得陵水凹陷下渐新统崖城组煤系烃源岩以生气为主。热演化和生排烃史模拟研究表明^[19-20],崖城组煤系烃源岩在演化上具有成熟早、生烃早、排烃早的特点;凹陷中心部位在渐新世晚期进入成熟阶段,在中中新世进入高成熟阶段,生排烃高峰期开始;凹陷边缘部位的潮坪相煤系在中新世晚期(5.3 Ma)到现今正处于生气阶段,生排烃的时间相对延迟,对圈闭捕获油气比较有利。

3 优越储盖组合是富气凹陷形成的前提

3.1 中央峡谷水道储层特征

深水区凹陷距离物源区较远,因此优质储层的发育程度成为天然气富集的关键要素。琼东南盆地中统莺歌海组—黄流组沉积时期发育中央峡谷横贯整个中央坳陷带,西起乐东凹陷,经陵水凹陷、宝岛凹陷、长昌凹陷最终向东汇入西沙海槽,总长大于 425 km,面积约 5 000 km²。在陵水凹陷内长度 85 km,平均宽度 15 km,中央峡谷平面上呈 NE 向条带状展布(图 1)。

3.1.1 中央峡谷水道沉积充填时期

中央峡谷沉积充填最早发生在黄流组一段沉积期,具有分段、分时代、多期充填的特点;通过井-震对比和地震相特征分析,将中央峡谷浊积水道充填划分为黄流组一段(T30—T31)、莺歌海组二段下部(T29—T30)、莺歌海组二段中部(T28—T29)3个主要的沉积充填演化阶段。每个时期沉积的砂体纵向上又可以细分出多套砂组。

3.1.2 中央峡谷水道内部充填结构及沉积微相

中央峡谷水道内部发育多期水道-天然堤体系,以点砂坝微相为主,岩性上主要为厚层块状细砂岩,粒度分析表明具有重力流沉积特征,测井曲线形态以箱型为主,根据莺 1-1 井、莺 2-1 井和莺 3-1 井中有孔虫及钙质超微化石定量分析鉴定推测,中央峡谷水道砂为浅水沉积物经二次搬运的深水重力流沉积。

陵水凹陷内的中央峡谷水道在地震剖面上总体呈“U”型和“V”型^[21],内部发育多期水道充填,点砂坝表现为叠瓦地震反射结构,具有强振幅、连续、低频地震反射等特征(图 6)。平面上点砂坝分布于水道两侧边缘,振幅强,平面上呈透镜状或长条状,在水道弯曲处即凸岸处更发育;峡谷中间为一条低弯度的弱振幅反射水道,应为水道改道后被后期泥岩充填;天然堤复合体位于水道两侧,范围较窄,地震反射较强。

3.1.3 中央峡谷水道储层物性

邻近陵水凹陷的乐东凹陷和莺歌海盆地东南部钻遇中央峡谷水道的莺 1-1 井、莺 2-1 井和莺 3-1 井揭示水道砂体孔隙度在 20% 以上,渗透率多在 60 mD 以上,最高达 917 mD,显示了峡谷水道优越的储层物性。

3.2 莺歌海组—黄流组深海相泥岩盖层

天然气聚集对于盖层的要求更为严格,因此,稳定分布的区域盖层是形成富气凹陷的另一个关键要素。莺歌海组—黄流组沉积时期琼东南盆地深水区发育上千米厚的半深海—深海相泥岩盖层^[22],并且稳定分布,莺歌海组—黄流组峡谷水道储层与其半深海—深海相泥岩盖层之间形成了较好的储盖组合(图 7)。

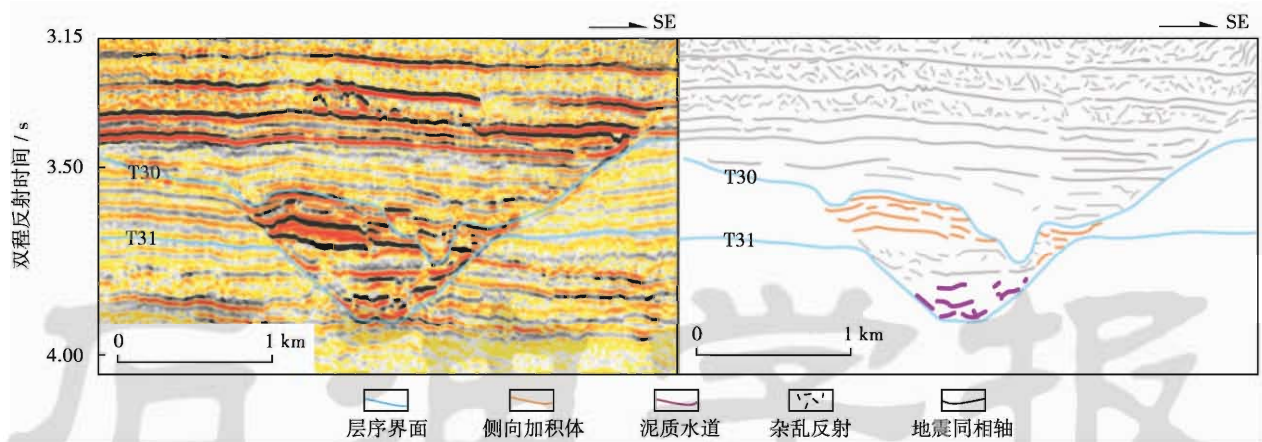


图 6 中央峡谷水道沉积剖面特征

Fig. 6 Sedimentary characteristics of central canyon

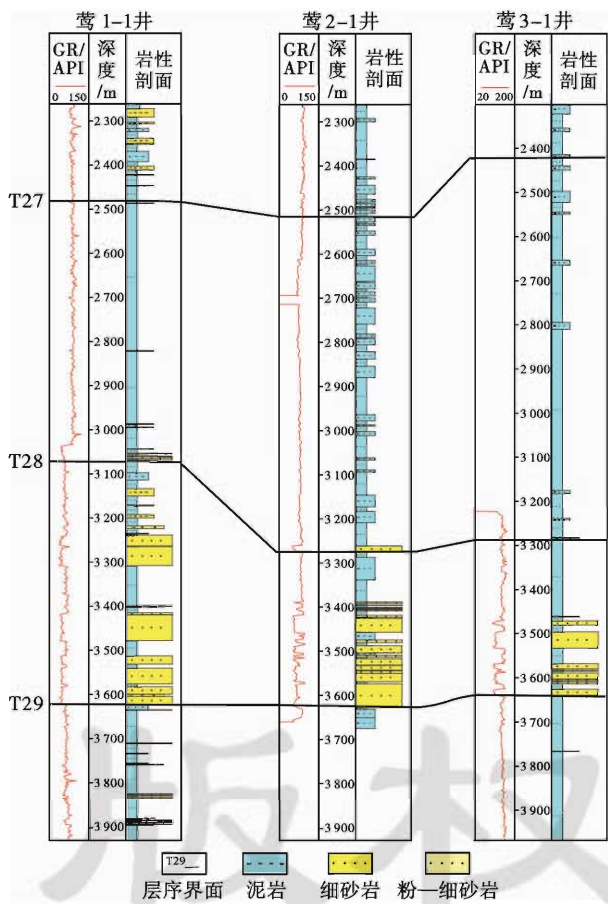


图 7 浅水区钻井揭示莺歌海组—黄流组峡谷水道储盖组合

Fig. 7 Central canyon reservoir-cap assemblages of drilling well in shallow water area

4 有效运移通道是油气运聚成藏的关键

本区地震剖面显示不存在有深大断裂直接沟通浅层圈闭与深层烃源岩,但从地震测线 L2 上可以观测到在陵水 1 水道砂体下部构造层存在较明显的模糊突

起带(图 8),并且其速度和压力表现为低速和高压异常,根据邻区莺歌海盆地钻井资料,推测可能是由于深部热流体活动产生的底辟带^[23-25]。油气正是沿着这个底辟带垂向运移至上部圈闭成藏。

根据速度和压力分析,总结出了本区底辟带的识别特征:①地震剖面上可见柱状外形,部分两侧地层具有上拉特征;②具振幅异常反射信息,内部反射杂乱,振幅减弱或增强,常在顶部地层出现明显振幅异常(气烟囱);③底辟内部地层可见众多明显的微小(垂直)断裂或层间断裂;④速度上可见低速异常,压力比两侧地层明显增高(图 8)。这些特征能有效指导在琼东南盆地深水区其他凹陷寻找类似的垂向运移通道。

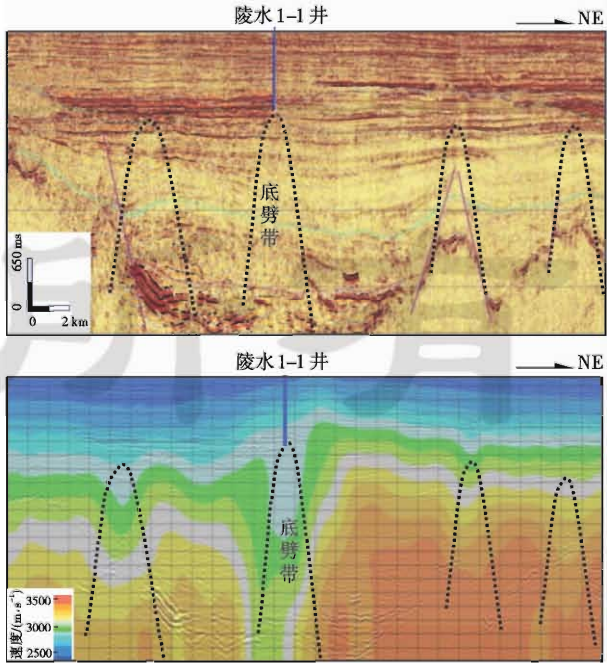


图 8 陵水凹陷 L2 测线底辟带发育区速度分析(剖面位置见图 1)

Fig. 8 Diapir belt velocity analysis of seismic line L2 in Lingshui sag (location see Fig. 1)

5 勘探实践获得重要突破

5.1 钻探证实下渐新统崖城组煤系烃源岩研究结论

2010 年钻探的陵水 2-1 井证实崖城组存在煤系地层,煤层有机碳含量高达 15%,泥岩有机质含量平均 0.9%,部分达到 1.2%,干酪根类型以Ⅱ₂—Ⅲ型为主;根据古生物、岩屑特征,以及岩性组合的电测曲线特征分析认为,崖城组沉积期陵水凹陷南部斜坡为潟湖—潮坪沉积环境,证实了前期研究中的有关认识。

5.2 陵水 1 构造钻探取得重要突破

5.2.1 圈闭特征及油气发现情况

上述研究与实践对陵水凹陷天然气勘探突破起到了重要推动作用,2010 年在陵水凹陷钻探陵水 1 构造

获得重要发现。陵水 1 构造位于陵水凹陷东南部,主力目的层为莺歌海组大型中央水道砂体。中央水道砂体由 A1 至 A7 共 7 个不连续砂体组成,总面积 142 km²(图 9)。陵水 1-1 井设计钻探 A1 砂体,面积 39 km²。钻井过程中在 3 300~3 400 m 井段见连续气测异常显示,随钻测井资料解释成果为 58 m 气层,气层平均孔隙度为 27%。陵水 1 含气构造三级地质储量达到 712×10⁸ m³。

5.2.2 天然气成因

通过已钻探井陵水 1-1 井的天然气碳、氧同位素组成分析,证实其天然气成因与崖城 13-1 气田相似,都为崖城组腐殖型烃源岩生成的凝析油伴生气和煤成气(图 10),验证了前述研究成果中关于陵水凹陷崖城组发育煤系烃源岩的认识是正确的。

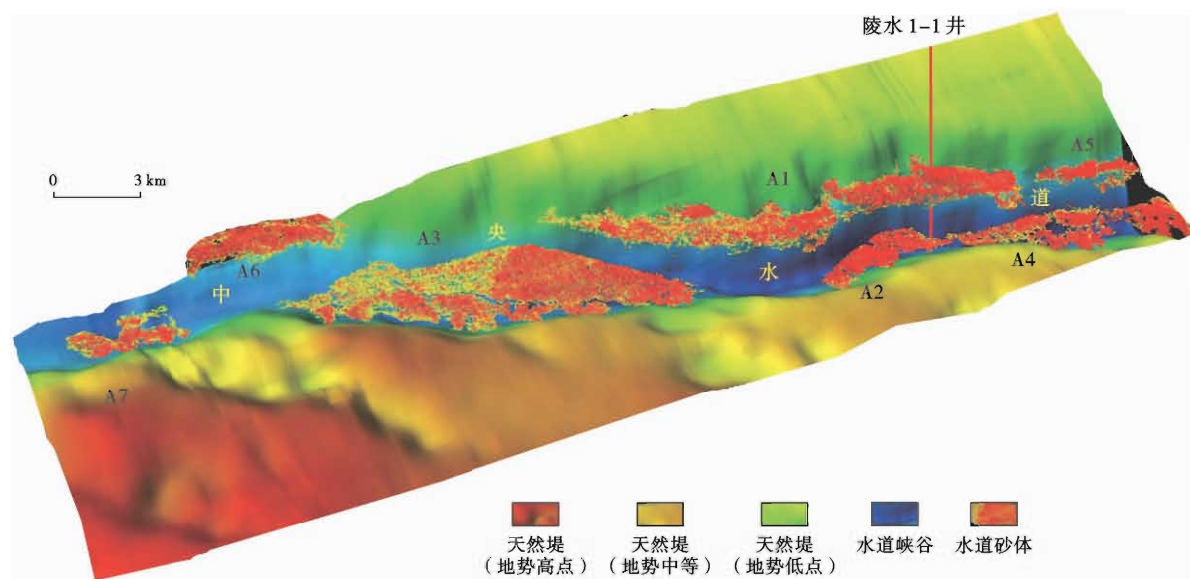


图 9 陵水 1 构造 A 砂体平面展布特征

Fig. 9 Plane distribution characteristics of Lingshui 1 trap sand

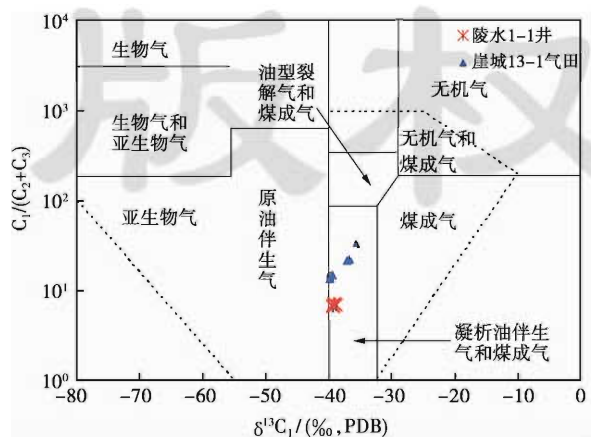


图 10 陵水 1-1 井与崖城 13-1 气田天然气成因类型判别

Fig. 10 Natural gas genetic types in Well Lingshui-1 and Yacheng 13-1 gas field

5.2.3 天然气成藏特征

对烃类包裹体和埋藏史的综合分析表明,陵水 1 构造成藏时间约在 3.5 Ma(莺歌海组二段沉积时期),与崖城 13-1 构造的成藏时间接近^[26],进一步反映了陵水凹陷天然气晚期高效成藏的特点,对于本领域的目标评价具有指导作用。

6 讨论

琼东南盆地深水区发育乐东—陵水凹陷、松南—宝岛凹陷、长昌凹陷和北礁凹陷,其中,陵水凹陷存在富气凹陷形成的主控因素,包括崖城组发育煤系地层烃源岩、中新统存在优越的储盖组合和沟通二者的有效运移通道,其他凹陷是否具备上述油气形成的控制因素,为潜在富气凹陷呢?

据张义娜等研究^[27],认为长昌凹陷崖城组发育三角洲煤系地层烃源岩,另据李绪宣等研究^[12]认为长昌凹陷第三系断裂非常发育,有些断裂甚至断至海底,其为崖城组海陆过渡相煤系地层烃源岩生成的油气运移到中新统水道砂体和上渐新统三角洲砂体提供了有效通道,因此,长昌凹陷具备一定勘探潜力。

2011年底,在北礁凹陷钻探了永乐 1-1 井,虽未获得商业性油气发现,但钻井证实北礁凹陷崖城组发育具障壁海岸的潟湖—潮坪沉积环境,崖城组一段的海岸平原沼泽和崖城组三段的扇三角洲平原是煤系地层发育的有利相带,有机碳含量高,生烃潜力大;但由于北礁凹陷沟通油气源断裂不发育,地震剖面也未见底辟等有效通道,因此,北礁凹陷油气勘探存在一定风险。

根据乐东凹陷所处位置,推断其与陵水凹陷具备相似的油气地质条件,但乐东凹陷二维地震测线稀少,且质量较差,地震反射特征模糊不清,由于乐东凹陷地震资料的限制,下一步应该加大地震资料采集力度,攻关资料处理技术,为乐东凹陷油气勘探提供研究基础。

7 结 论

(1) 琼东南盆地深水富气凹陷广泛发育一至多套厚度较大的海陆交互相气源岩,表现为有机质丰度中等—好,类型以 III—II₂ 型为主,热演化程度较高(镜质体反射率大于 1.0%)。

(2) 琼东南盆地深水富气凹陷发育一至多套区域盖层,保存条件好,其下有中央峡谷水道优质储层,储盖组合条件优越;大中型气田(群)沿底辟带或断裂带呈群带状分布。

(3) 钻探证实关于陵水凹陷前期成藏主控因素研究认识的正确性,并发现陵水 1 深水气田。莺歌海组—黄流组大型中央水道还存在大量未钻圈闭(砂体),只要有有效的运移通道(底辟或断层)存在,圈闭落实,油气就可以聚集成藏,显示出巨大的资源潜力和良好的勘探前景。

参 考 文 献

- [1] 沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志卷 16[M]. 北京:石油工业出版社,1990.
Coastal Shelf and Adjacent Sea Area Oil Gas Petroleum Geology Compilation Group. Petroleum geology of China Vol. 16[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1990.
- [2] 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
Gong Zaisheng. The major oil and gas fields of China offshore [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1997.
- [3] 邱中建,龚再升. 中国油气勘探第四卷:近海油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1999.
- [4] 朱伟林,张功成,杨少坤,等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社,2007.
Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Yang Shaokun, et al. Natural gas geology of the northern South China Sea continental margin basins[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2007.
- [5] 朱伟林,张功成,高乐. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 石油学报,2008,29(1):1-9.
Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Gao Le. Geological characteristics and exploration objectives of hydrocarbons in the northern continental margin basin of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008,29(1):1-9.
- [6] 朱伟林,张功成,钟锴,等. 中国南海油气资源前景[J]. 中国工程科学,2010,12(5):46-50.
Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Zhong Kai, et al. South China Sea: oil and gas outlook[J]. Engineering Sciences, 2010,12(5):46-50.
- [7] 邓运华. 试论中国近海两个拗陷带油气地质差异性[J]. 石油学报,2009,30(1):1-8.
Deng Yunhua. Analysis on differences of petroleum type and geological conditions between two depression belts in China offshore [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009,30(1):1-8.
- [8] 张功成,朱伟林,米立军,等. “源热共控论”:来自南海海域油气田“外油内气”环带有序分布的新认识[J]. 沉积学报,2010,28(5):987-1005.
Zhang Gongcheng, Zhu Weilin, Mi Lijun, et al. The theory of hydrocarbon generation controlled by source rock and heat from circle distribution of outside-oil fields and inside-gas fields in South China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010,28(5):987-1005.
- [9] 张功成,米立军,吴时国,等. 深水区-南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报,2007,28(2):15-21.
Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deepwater area-the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(2):15-21.
- [10] 赵民,张晓宝,吉利明,等. 琼东南盆地构造演化特征及其对油气藏的控制浅析[J]. 天然气地球科学,2010,21(3):494-502.
Zhao Min, Zhang Xiaobao, Ji Liming, et al. Characteristics of tectonic evolution in the Qiongdongnan Basin and brief discussion about its controlling on reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2010,21(3):494-502.
- [11] 钟志洪,王良书,李绪宣,等. 琼东南盆地古近纪沉积充填演化及其区域构造意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,2004,24(1):29-36.
Zhong Zhihong, Wang Liangshu, Li Xuxuan, et al. The paleogene Basin-filling evolution of Qiongdongnan basin and Its relation with seafloor spreading of the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004,24(1):29-36.
- [12] 李绪宣,朱光辉. 琼东南盆地断裂系统及其油气输导特征[J]. 中

- 国海上油气, 2005, 17(1): 1-7.
- Li Xuxuan, Zhu Guanghui. The fault system and its hydrocarbon carrier significance in Qiongdongnan Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(1): 1-7.
- [13] 谢玉洪, 童传新, 崖城 13-1 气田天然气富集条件及成藏模式[J]. 天然气工业, 2011, 31(8): 1-5.
- Xie Yuhong, Tong Chuanxin. Condition and gas pooling modes of natural gas accumulation in the Yacheng 13-1 gas field[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(8): 1-5.
- [14] 张功成, 何玉平, 沈怀磊. 琼东南盆地崖北凹陷崖城组煤系烃源岩分布及其意义[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(4): 654-661.
- Zhang Gongcheng, He Yuping, Shen Huailei. Distribution of Yacheng formation coal measure in Yabei Sag in Qiongdongnan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(4): 654-661.
- [15] 李莹, 张功成, 吕大炜, 等. 琼东南盆地崖城组沉积特征及成煤环境[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(1): 1-5.
- Li Ying, Zhang Gongcheng Lü Dawei, et al. Depositional characteristics and coal forming environment of Yacheng Formation, Qiongdongnan basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(1): 1-5.
- [16] 卢骏, 刘震, 张功成, 等. 南海北部小型海陆过渡相断陷地震相分析及沉积充填演化史研究——以琼东南盆地崖南凹陷崖城组为例[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(7): 13-21.
- Lu Jun, Liu Zhen, Zhang Gongcheng, et al. Seismic facies analysis and filling history reconstruction of small faulted sepressions in northern South China Sea: a historical case on Yacheng formation in Yanan depression of the Qiongdongnan Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(7): 13-21.
- [17] 张功成, 李增学, 何玉平, 等. 琼东南盆地煤地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5): 693-699.
- Zhang Gongcheng, Li Zengxue, He Yuping, et al. Coal geochemistry of Qiongdongnan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 693-699.
- [18] 沈怀磊, 秦长文, 王东东, 等. 琼东南盆地崖城组煤层的识别方法[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 586-590.
- Shen Huailei, Qin Changwen, Wang Dongdong, et al. Distinguishing methods for coal beds in Yacheng formation of Qiongdongnan basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4): 586-590.
- [19] 黄保家, 李绪深, 王振峰, 等. 琼东南盆地深水烃源岩地球化学特征与天然气潜力[J]. 中国海上油气, 2012, 24(4): 1-7.
- Huang Baojia, Li Xushen, Wang Zhenfeng, et al. Source rock geochemistry and gas potential in the deep water area, Qiongdongnan Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(4): 1-7.
- [20] 易平, 黄保家, 黄义文, 等. 莺-琼盆地高温超压对有机质热演化的影响[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 32-35.
- Yi Ping, Huang Baojia, Huang Yiwen, et al. Influences of high temperature and overpressure on the thermal evolution of organic matter in the Ying-Qiong Basins, South China Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 32-35.
- [21] 苏明, 解习农, 王振峰, 等. 南海北部琼东南盆地中央峡谷体系沉积演化[J]. 石油学报, 2013, 34(3): 467-478.
- Su Ming, Xie Xinong, Wang Zhenfeng, et al. Sedimentary evolution of the central canyon system in Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(3): 467-478.
- [22] 王欢, 王琪, 张功成, 等. 琼东南盆地梅山组泥岩盖层封闭性综合评价[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 153-158.
- Wang Huan, Wang Qi, Zhang Gongcheng, et al. Comprehensive evaluation on the sealing ability of mudstone caprock in Meishan formation of Qiongdongnan Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(2): 153-158.
- [23] 何家雄, 黄火尧, 陈龙操. 莺歌海盆地泥底辟发育演化与油气运聚机制[J]. 沉积学报, 1994, 12(3): 120-129.
- He Jiaxiong, Huang Huoyao, Chen Longcao. The formation and evolution of mud diapir and its relationship with hydrocarbon accumulation mechanism in Ying Ge Hai Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(3): 120-129.
- [24] 解习农, 李思田, 董伟良, 等. 热流体活动示踪标志及其地质意义——以莺歌海盆地为例[J]. 地球科学, 1999, 24(2): 183-187.
- Xie Xinong, Li Sitian, Dong Weiliang, et al. Trace marker of hot fluid flow and their geological implications: a case study of Yinggehai Basin[J]. Earth Science, 1999, 24(2): 183-187.
- [25] 邱鹏飞, 黄华谷, 黄保家, 等. 莺歌海盆地海底麻坑的形成与泥底辟发育和流体活动的关系[J]. 热带海洋学报, 2012, 31(5): 26-36.
- Qiu Pengfei, Huang Huagu, Huang Baojia, et al. Seabed poth-mark formation associated with mud diapir development and fluid activities in the Yinggehai Basin of the South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2012, 31(5): 26-36.
- [26] 史建南, 郝芳, 邹华耀. 琼东南盆地崖 13 高效天然气成藏机理研究[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 807-810.
- Shi Jiannan, Hao Fang, Zou Huayao. Study on accumulation mechanism of YA13-1 efficient natural gas reservoir in Qiongdongnan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(6): 807-810.
- [27] 张义娜, 张功成, 杨海长, 等. 琼东南盆地文昌凹陷渐新统崖城组沉积特征研究[J]. 海洋石油, 2013, 33(2): 15-21.
- Zhang Yina, Zhang Gongcheng, Yang Haizhang, et al. Study on the sedimentation characteristics of Yacheng formation in Changchang Depression, Qiongdongnan Basin[J]. Offshore Oil, 2013, 33(2): 15-21.

(收稿日期 2013-08-07 改回日期 2013-11-08 责任编辑 张 怡)