

## 琼东南盆地陵水凹陷渐新统陵水组 沉积特征及烃源岩发育模式

刘仕友<sup>1</sup>, 陈泓燕<sup>2,3</sup>, 李德勇<sup>2,3,4</sup>, 孙万元<sup>1</sup>, 李聪颖<sup>2</sup>

1 中海石油(中国)有限公司湛江分公司; 2 中国海洋大学海洋地球科学学院;

3 海底科学与探测技术教育部重点实验室;

4 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源与探测技术功能实验室

**摘要** 琼东南盆地陵水凹陷深层渐新统陵水组烃源岩的沉积成因机制和发育分布规律,成为制约现阶段深水油气勘探的关键问题。综合应用二维地震资料和钻井资料,将陵水组地层划分为3个三级层序。在层序地层格架内,共识别出丘状、楔状前积、斜交前积、席状、下切充填、波状等典型地震相类型。依据地震沉积学理论进行了沉积相解释,识别出滨岸平原、浅海、半深海、海底扇、扇三角洲等5种沉积相类型,并分层序分析了受分隔性古隆起影响的滨浅海沉积体系的平面展布特征。结合地球化学资料,建立了滨岸平原含煤系烃源岩和陆源海相烃源岩的沉积发育模式;腐殖型含煤系烃源岩主要分布于陵水凹陷东侧松南低凸起和南侧陵南低凸起边缘的滨岸平原相带内,有机质来源为陆生高等植物;陆源海相烃源岩主要发育于扇三角洲体系与浅海相、半深海相的过渡带,有机质来源为陆生高等植物与水生生物的混合。

**关键词** 琼东南盆地; 陵水凹陷; 渐新世; 陵水组; 沉积相; 烃源岩

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

### 0 引言

琼东南盆地是我国南海北部陆缘重要的含油气盆地<sup>[1]</sup>,勘探实践已证实盆地深水区(水深大于500m)具有巨大的天然气勘探潜力。近年来,相继在中央峡谷发现了LS22-1和LS17-2优质富烃气田<sup>[2]</sup>,其中LS17-2气田是琼东南盆地深水区首个探明储量超千亿方的大气田,也是继Y13-1气田发现之后的又一重大勘探发现。

针对琼东南盆地深水区陵水凹陷层序地层结构样式、沉积相类型以及烃源岩分布,前人开展了部分探索性的研究<sup>[3-15]</sup>。有学者将陵水凹陷古近系划分为7个三级层序(其中陵水组包括3个三级层序),并着重分析了断裂构造对层序构成样式的控制,同时对深水区崖城组海陆过渡相烃源岩进行了识别和预测<sup>[3-5]</sup>;部分学者将陵水组划分为4个三级层序<sup>[6-7]</sup>;王东东<sup>[8]</sup>应用高分辨率层序地层学理论对古近系进行了长期、中期和短期基准面层序旋回划分,将陵水

组划分为4个中期旋回。众多学者<sup>[3-4,6,9-10]</sup>一致认为,由始新统至渐新统崖城组、陵水组,琼东南盆地由陆相湖泊环境逐渐演变为海陆过渡相半封闭的沉积环境和海相滨浅海环境,主要发育了滨岸平原、浅海以及扇三角洲等沉积体系。

在烃源岩和天然气地球化学特征分析的基础上,前人认为琼东南盆地发育始新统湖相和下渐新统海陆过渡相2套优质烃源岩,并重点对中央峡谷区天然气来源<sup>[11]</sup>和成藏机制<sup>[12-13]</sup>进行了综合研究,提出深水区崖城组煤系烃源岩可能是主要的油气来源<sup>[14]</sup>。李文浩等<sup>[15]</sup>研究发现,琼东南盆地陵水组含煤岩系TOC在70.90%-95.93%之间,平均为83.42%, $S_1+S_2$ 在91.66-170.60 mg/g之间,平均为131.12 mg/g,表明陵水组含煤岩系具有较好的生烃潜力,也是盆地重要的烃源岩层系。

由于琼东南盆地深水区钻井少,而且勘探的目的层主要针对中新统和上新统,因此对于深层沉积分布规律和烃源岩生烃潜力的认识还远远不足,优

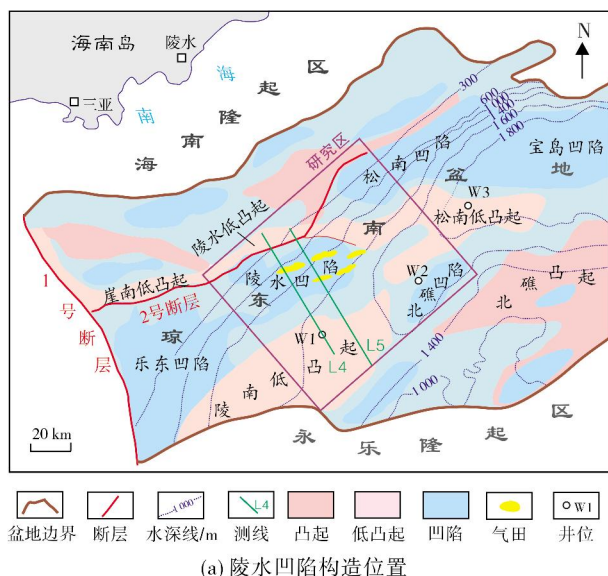
收稿日期:2018-09-12; 改回日期:2018-12-31

本文受国家科技重大专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(编号:2016ZX05026)和国家自然科学基金重点项目“南海西北部盆地构造沉积特征对青藏高原隆升的响应”(编号:41530963)联合资助

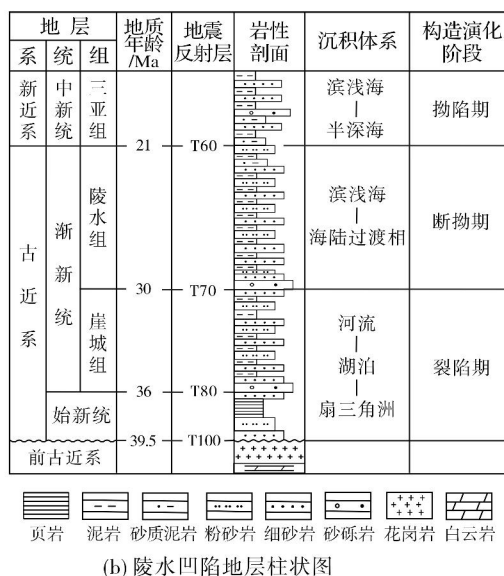
**第一作者:**刘仕友,工程师,主要从事储层预测及烃类检测工作。通信地址:524057 广东省湛江市坡头区22号信箱中海石油(中国)有限公司湛江分公司; E-mail: liushiyu@139.com

**通信作者:**李德勇,博士,副教授,主要从事沉积学与石油天然气地质学研究。通信地址:266100 山东省青岛市崂山区松岭路238号; E-mail: ldy411@ouc.edu.cn

质、有效烃源岩的发育程度已成为制约深水区油气勘探能否取得突破的关键因素之一,烃源岩的发育规模、时空展布及其沉积成因机制成为了现阶段亟需解决的问题。笔者在前人研究的基础上,以琼东南盆地陵水凹陷陵水组为目的层,综合应用地震、测井、录井和地球化学分析数据等资料,开展了层序地层结构和沉积特征研究,进一步探究烃源岩的发育分布规律与沉积相带之间的关系,以期对烃源岩分布预测提供依据。



(a) 陵水凹陷构造位置



(b) 陵水凹陷地层柱状图

图1 琼东南盆地陵水凹陷构造位置及地层柱状图(据文献[18]修改)

依据断层活动期次和变形机制,琼东南盆地构造充填演化过程可细分为始新世—早渐新世裂陷期、晚渐新世断拗转化期、中新世—第四纪拗陷期<sup>[3-4,18]</sup>(图1b)。始新世—早渐新世,南海北部大陆边缘陆壳裂解(南海运动)<sup>[3-4,19]</sup>,在基底断裂控制下盆地开始裂陷,并逐渐充填了始新统和渐新统崖城组,始新统主要为陆相湖泊沉积;受南海区域性海侵事件影响,中央拗陷区沉积了崖城组滨岸平原沼泽相煤系地层。晚渐新世,盆地受热冷却作用影响开始向拗陷转化,除分隔性古隆起外,受南海海平面持续上升影响,盆地内部充填了陵水组滨浅海沉积;其后,受青藏高原快速构造隆升事件影响,华南周缘区域性地壳抬升,盆地在陵水组沉积末期形成了T60破裂不整合面<sup>[3-4,20]</sup>。至中新世,盆地进入裂后拗陷期,控盆断层活动性减弱甚至停止,南海海侵扩张并在中央拗陷区形成统一的沉降与沉积中心,沉积了全盆地分布的中新统—上新统海相地层。

## 1 区域地质概况

琼东南盆地位于南海海域西北部,夹持于海南隆起区和永乐隆起区之间,是在南海北部陆缘中生代基底之上发育的大型新生代裂谷型盆地<sup>[16]</sup>。陵水凹陷位于盆地西部,其北侧、东侧和西南侧分别为陵水低凸起、松南低凸起和陵南低凸起(图1a),凹陷面积约为 $1.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[17]</sup>。

## 2 层序地层格架与沉积体系发育特征

### 2.1 层序地层格架

依据经典层序地层学理论<sup>[21]</sup>,通过井-震结合构建了陵水凹陷的构造-地层格架(图2)。首先,利用二维地震资料,根据削截、顶超、上超、下超等地震反射终止类型,识别并追踪了T60、T70等构造不整合面,以此分别作为陵水组顶底界面(图2a)。其次,在构造-地层格架内,通过识别海侵上超迁移、下切侵蚀以及前积、丘状反射单元的下超等典型层序界面标志,并参考典型钻井的测井曲线形态和岩性、岩相突变特征,在陵水组地层内部进一步识别出了S61和S62这2个三级层序界面;如图2b所示,W1井S<sub>1</sub>与S<sub>2</sub>层序的分界面为海相泥岩向石灰岩转变的岩性突变面——在海平面上升期间,因缺少碎屑供给而水体清澈,易沉积薄层碳酸盐岩从而形成层序界面。最终,将陵水组划分为3个三级层序,自下而上依次为S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>(图2)。



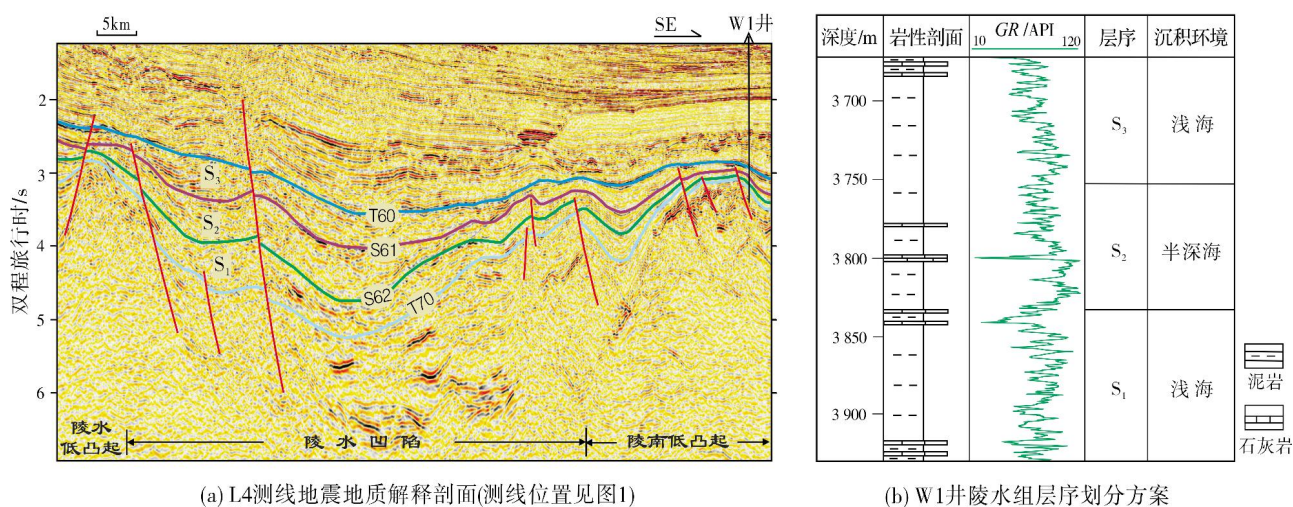


图2 琼东南盆地陵水凹陷及周缘陵水组层序划分方案

## 2.2 地震相类型

地震相是沉积体外形、岩层叠置样式以及岩性差异的空间组合在地震响应上的综合反映。在陵水组层序地层划分的基础上,选择骨干地震测线进行了地震相类型的识别。通过对区内二维地震剖面地震反射单元的内部反射结构和外部反射形态的识别,结合频率、振幅、连续性等反射波组特征,在陵水组共识别出6种典型的地震相类型:丘状、楔状前积、斜交前积、席状、下切充填、波状(图3)。

**丘状地震相** 为一套外形呈丘状、具双向下超特征的同相轴序列,在地震上表现为凸起或层状地层上隆,内部呈中等振幅、中—弱连续的杂乱或层状斜交反射(图3)。丘状地震相多分布于陵水低凸起2号断层以南的盆底区域,横向延伸可达10余千米,在陵水组沉积早期、中期发育,推测为海底扇的沉积响应。

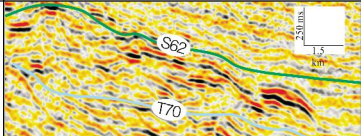
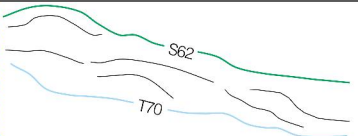
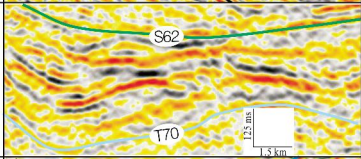
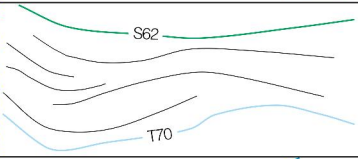
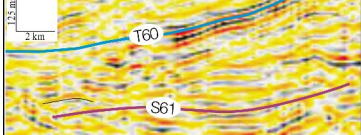
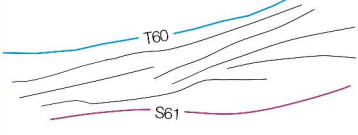
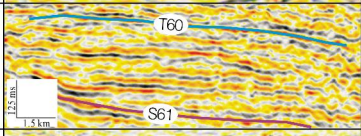
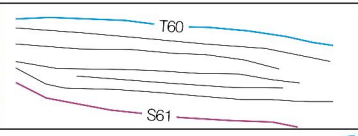
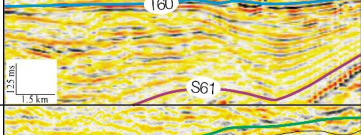
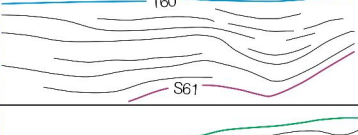
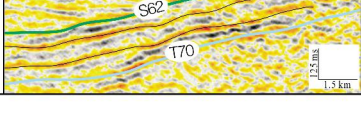
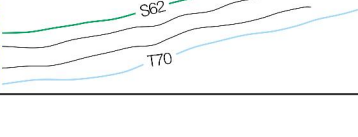
**楔状前积地震相** 为一套整体呈楔状外形、具明显前积或进积特征的地震反射同相轴序列,主要呈中强振幅和中等连续的S型、斜切型前积反射特征(图3)。其主要特点是向上倾方向厚度逐渐减薄,走向上常呈丘状,多形成于陵南低凸起和松南低凸起等向凹陷过渡的斜坡带边缘,甚至与盆底的丘状地震相伴生,指示由充足沉积物源供给而形成的扇三角洲沉积。楔状前积地震相在陵水组沉积早期的S<sub>1</sub>层序中发育较多,该时期南海大规模海侵,陵南低凸起和松南低凸起等局部古隆起持续剥蚀,为周缘提供了大量碎屑物质,在陵水凹陷南侧、东侧斜坡带发育了多个扇三角洲体系。

**斜交前积地震相** 外部形态呈不规则的楔形或三角形,内部由中等振幅、中等连续的多组相对斜交的反射波组组成(图3),无明显的底积层和顶积层,由物源区向凹陷中心前积推进,地层厚度沿倾向均匀变薄,呈现出较大的沉积坡度。该地震相可解释为水体相对静止时,在坡度较大的盆地边缘斜坡带沉积的富泥型扇三角洲体系。

**席状地震相** 是陵水凹陷地震剖面上最常见的反射单元外部形态,其主要特点是上下界面近于平行,厚度相对稳定,常具平行、亚平行结构,呈中等振幅、中—高连续反射波组特征(图3)。该地震相代表了水体底部平坦和相对平静的沉积水动力环境,多分布于半深海、深海沉积环境,陵水凹陷内部多有发育,主要反映了浅海—半深海加积作用,前积作用速率往往较低。

**下切充填地震相** 由充填于下伏负地形的同相轴序列构成,底部常见明显的对下伏地层的削截,在地震剖面上呈不规则的“V”型或“U”型(图3)。该地震相反映滨岸平原环境中的侵蚀河道或陆架坡折带边缘的海底峡谷等。陵水凹陷在陵水组沉积晚期(S<sub>3</sub>层序)发育了该地震相类型,主要见于陵南低凸起向凹陷过渡的缓坡带。

**波状地震相** 内部同相轴总体上相互平行,但存在一定程度的波状起伏。它是不均匀垂向加积作用的产物,通常形成于滨岸冲积平原和受洋流、沿岸流扰动的滨浅海地带,主要呈低频、中—弱振幅、中—低连续的波状平行、亚平行反射波组特征(图3)。该类型见于陵水凹陷内部陵水组沉积早期。

地震相	发育位置 <sup>*</sup>			地震反射特征	地震反射结构几何特征	沉积相
	测线号	层序	构造位置			
丘状	L5	S <sub>1</sub>	2号断层上盘			海底扇
楔状前积	L1	S <sub>1</sub>	陵南低凸起			扇三角洲
斜交前积	L5	S <sub>3</sub>	陵南低凸起			扇三角洲
席状	L3	S <sub>3</sub>	2号断层下盘			半深海
下切充填	L3	S <sub>3</sub>	陵南低凸起			滨岸平原
波状	L2	S <sub>1</sub>	陵水凹陷中部			浅海

\* 典型地震相所在的测线位置参见图5

图3 琼东南盆地陵水凹陷陵水组典型地震相

## 2.3 地震相沉积学解释

盆地深水区钻井少,目前研究区仅有2口井钻遇陵水组,且钻井深度浅。在钻井典型岩相分析的基础上,对前述地震相单元进行了沉积相解释,共识别出滨岸平原、浅海、半深海、海底扇、扇三角洲等5种沉积相(图3),并进一步分层序研究了沉积体系的平面展布特征。

S<sub>1</sub>层序介于反射层T70—S62之间,根据地震反射波组特征,该层序主要发育了丘状、波状和斜交前积地震相(图4)。根据构造-沉积背景,在陵水组沉积早期2号断层活动性较强,构造沉降活动剧烈,故推测2号断层下降盘临近断层的丘状地震相(图3)为海底扇沉积。波状地震相主要分布在陵水凹陷内部(图3),推测为浅海相泥质细粒沉积。在陵南低凸起和松南低凸起,则识别出楔状前积地震相(图3),推测为近物源供给的扇三角洲沉积。

S<sub>2</sub>层序介于反射层S62—S61之间,主要发育了

波状和席状地震相,反映该时期沉积水动力变弱,浅海相和深海相分布范围变大,丘状反射这类高能沉积反射单元则较少。

S<sub>3</sub>层序介于反射层S61—T60之间,主要发育了席状、波状和下切充填地震相(图4),反映了浅海和半深海沉积特征,且半深海相分布范围较前期进一步扩大。

在对区内二维地震剖面开展地震相和沉积相解释的基础上,结合区域地质背景和前人研究成果<sup>[3]</sup>,分层序编制了研究区的沉积相图(图5),这些相图反映了沉积相的演化过程。

陵水组沉积早期(S<sub>1</sub>层序),陵水凹陷内部与边缘的陵水低凸起、陵南低凸起和松南低凸起等存在较大的地形高差,受南海区域性海侵事件影响,研究区由陆相湖泊逐渐发展为滨浅海。由图5a可以看出,凹陷内发育有浅海相、滨岸平原相、扇三角洲以及海底扇;在靠近2号断层的北部斜坡区海底扇较为发育,在靠近南部陵南低凸起的部位和东北部松南低



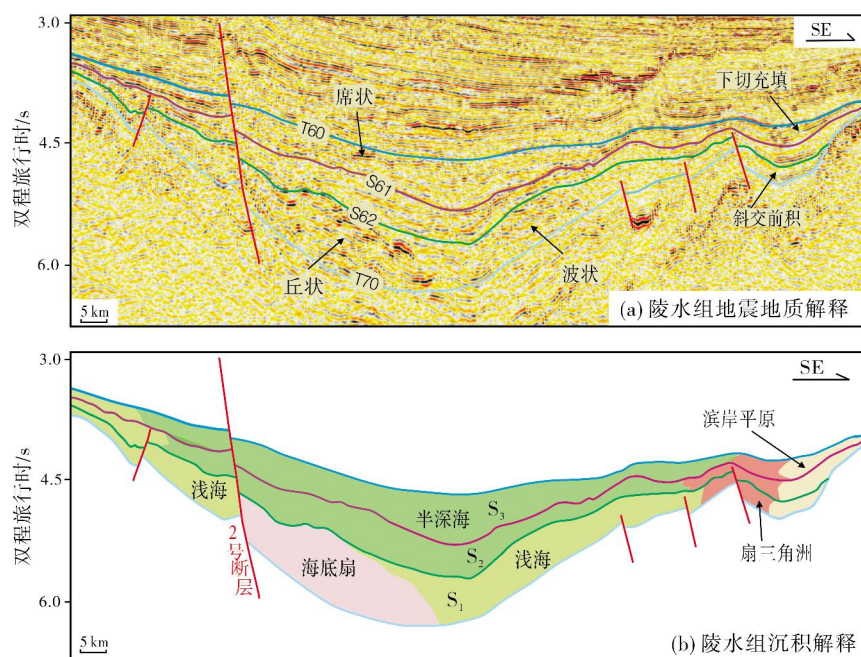


图4 琼东南盆地陵水凹陷L5测线陵水组地震相和沉积相解释

测线位置见图1

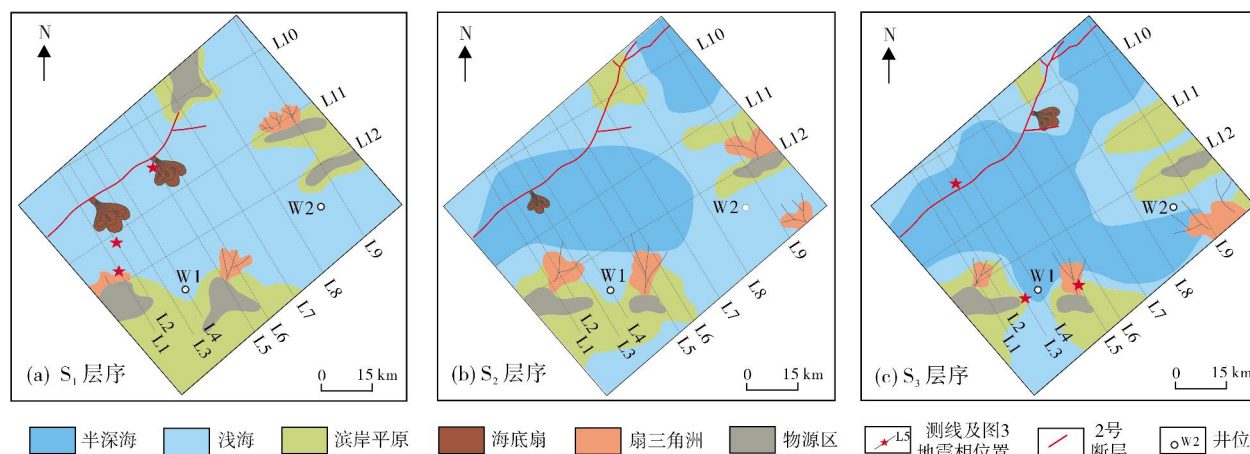


图5 琼东南盆地陵水凹陷陵水组沉积相平面图

凸起的部位(参见图1)发育有扇三角洲,凹陷内部主要发育浅海沉积体系。

陵水组沉积中期( $S_2$ 层序),凹陷中部及研究区北部开始发育半深海相(图5b),海底扇、滨岸平原相分布面积缩小,靠近东北部松南低凸起的扇三角洲向东南迁移。

陵水组沉积晚期( $S_3$ 层序),凹陷北部半深海相范围不断扩大(图5c),海底扇发育也有所扩大;陵南低凸起继续提供近源物质并形成扇三角洲沉积,靠近松南低凸起的扇三角洲则不再发育;在L9测线南部的扇三角洲面积扩大,推测这与研究区东南方向的

北礁凸起提供的物源相关。

### 3 烃源岩有机地球化学特征

陵水凹陷内部尚无钻井钻遇陵水组,周缘的W1井(位于陵南低凸起)和W2井(位于北礁凹陷)揭示了陵水组的泥质烃源岩,本次研究区之外的W3井(位于松南低凸起)揭示了陵水组碳质泥岩。对这些井的地球化学资料(表1)进行分析,可为研究区陵水组烃源岩的沉积成因分析和分布预测提供依据。

整体上看,陵水凹陷泥质烃源岩成熟度较低,烃源岩生烃潜能一般,主要属于中等—偏差的烃源岩。

表 1 琼东南盆地陵水凹陷及周缘陵水组烃源岩地球化学特征

井名	岩性	TOC/%			$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$			$S_1+S_2/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$			PI			HI/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )		
		样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值
W1	泥岩	9	0.54~1.22	0.87	5	425~435	430	5	0.41~1.45	0.78	5	0.03~0.07	0.05	—	—	—
W2	泥岩	16	0.31~0.68	0.54	16	412~434	427	16	0.35~1.48	0.98	16	0.04~0.28	0.11	16	85~227	155.86
W3	碳质泥岩	2	14.87~20.79	17.83	2	450~452	451	2	39.37~56.43	47.90	2	0.02~0.03	0.03	2	184.2~372.5	278.40

W1 井 3 个泥岩样品的镜质组反射率( $R_o$ )介于 0.21%~1.05%, 平均只有 0.77%。W1 井、W2 井泥质烃源岩 TOC 在 0.31%~1.22% 之间(表 1), 其中 W1 井 TOC 平均值(0.87%)高于 W2 井(0.54%), 但 W2 井的热解生烃潜量( $S_1+S_2$ )平均值(0.98 mg/g)要优于 W1 井(0.78 mg/g)。由表 1 可见, 碳质泥岩(W3 井揭示)是陵水凹陷深层的主力烃源岩, 形成于滨岸平原沉积环境中, 其有机地球化学指标与煤系烃源岩类似: TOC 介于 14.87%~20.79%, 平均高达 17.83%;  $S_1+S_2$  在 39.37~56.43 mg/g 之间, 平均为 47.90 mg/g。这表明陵水组碳质泥岩是海陆过渡相沉积的优质烃源岩类型。

前人对琼东南盆地渐新统烃源岩生物标志物的研究表明<sup>[15]</sup>: 陵水组泥质烃源岩主要发育于氧化环境, 成熟度较高, 其生源以陆源高等植物为主, 混合有藻类等水生生物。表 1 所列样点的 TOC 与  $S_1+S_2$  的关系如图 6a 所示。依据前人提出的泥岩和碳质泥岩

的划分标准<sup>[22]</sup>, 本次研究区内陵水组主要发育暗色泥岩烃源岩。干酪根显微组分特征及其含量(表 2)可以反映有机质类型, 从研究区显微组分相对含量三角图(图 6b)可以看出, 陵水组泥岩中的腐泥组、壳质组和镜质组含量较高(腐泥组和壳质组为富氢组分, 生烃潜力较高), 说明有机质来源主要为高等植物, 浅海环境下的低等水生生物也有一定贡献, 反映出烃源岩发育于滨岸平原—浅海环境。这与前文关于研究区陵水组沉积环境与沉积相的解释结果一致, 也验证了烃源岩主要发育于氧化环境的认识。依据前人提出的有机质的划分标准<sup>[15]</sup>, 由样品的最高热解温度与氢指数的关系(图 6c)可见, 盆地深水区烃源岩有机质类型为 II<sub>2</sub> 型、III 型, 属于生气型、偏腐殖型干酪根, 这反映有机质的来源主要为陆源高等植物。总体来看, 研究区内 2 口井目前揭示的陵水组烃源岩, 属于陆源有机质海相烃源岩。

表 2 琼东南盆地陵水凹陷及周缘陵水组烃源岩干酪根显微组分简表

井名	岩性	腐泥组/%			镜质组/%			惰质组/%			壳质组/%		
		样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值	样品数	范围值	平均值
W1	泥岩	13	14.4~58.6	45.7	13	13.6~73.6	33.3	13	9.7~35.7	33.3	13	0~0.3	0.1
W2	泥岩	16	39.8~69.4	56.4	16	23.1~58.5	32.3	16	1.2~19.1	10.7	16	0~1.6	0.7

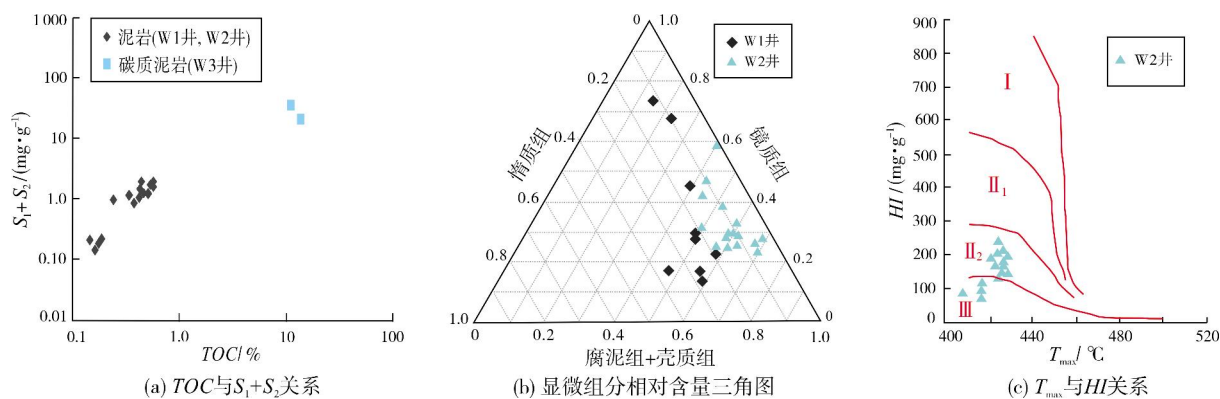


图 6 琼东南盆地陵水凹陷及周缘陵水组烃源岩样品地化指标

## 4 陵水组烃源岩沉积发育模式与分布预测

通过对盆地深水区陵水凹陷陵水组沉积相平面展布特征的精细刻画,以及有机地球化学资料的综合分析,以 L5 测线地质解释为基础,建立了陵水凹陷烃源岩沉积发育模式(图 7)。不同的沉积相带,有机质来源不同:陵南低凸起边缘和松南低凸起边缘的滨岸平原相带,主要处于氧化环境,有机质来源为陆生高等植物;浅海区属于还原环境,有机质类型包括陆源高等植物和水生生物。

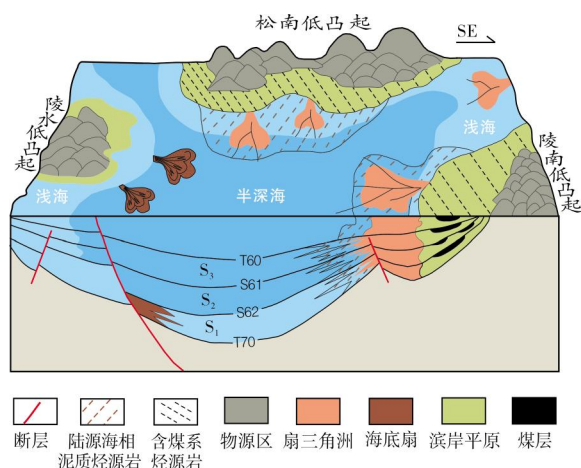


图 7 琼东南盆地陵水凹陷层序格架下烃源岩沉积发育模式

陵水组沉积早期( $S_1$ 层序),盆地处于断陷作用晚期,断层活动性较强,陵水凹陷沉积范围较小,来自陵水低凸起、陵南低凸起和松南低凸起的碎屑物质在断层下降盘处堆积,形成扇三角洲或海底扇沉积,而凹陷内部则主要为浅海相沉积。靠近陵南低凸起和松南低凸起等物源区的滨岸平原相带(图 7),物源供应充足,可形成滨岸平原相含煤系烃源岩,例如煤层、碳质泥岩。在扇三角洲前缘(图 7),沉积物主要为黏土和细粉砂,可形成向海缓慢倾斜且范围广阔的浅海相泥质烃源岩;从有机质来源看,扇三角洲前缘以陆源海相烃源岩为主,这类烃源岩拥有河流输入的丰富的陆源有机质,同时浅海环境中的广盐度生物和藻类,如介形虫、双壳虫、有孔虫等,也可为其提供部分有机质来源<sup>[23]</sup>。

陵水组沉积中晚期( $S_2, S_3$ 层序),陵水凹陷逐渐向拗陷作用转换,断层活动性减弱,南海海侵范围逐渐扩大,水体变深,开始形成较为统一的沉降中心与

沉积中心。陵水低凸起物源区逐渐向海南岛方向后退,这使得张性断层的上盘处于构造沉降大于沉积物供给的状态,海底扇发育范围受限,凹陷内部开始发育大范围的半深海相灰质泥岩沉积,陆源有机质较缺乏。这一时期,在靠近陵南低凸起和松南低凸起物源区的扇三角洲前缘,陆源有机质继续供给,这有利于陆源海相烃源岩进一步发育(图 7),而滨岸平原含煤系烃源岩的发育范围有所减小。

## 5 结 论

(1)在井-震标定和层序界面识别的基础上,将琼东南盆地陵水凹陷渐新统陵水组划分为 3 个三级层序。基于二维地震资料,在层序格架内共识别出丘状、楔状前积、斜交前积、下切充填、席状、波状等 6 种典型地震相,这些地震相分别代表了海底扇、扇三角洲、滨岸平原以及浅海、半深海等沉积相。

(2)分层序刻画了研究区沉积体系平面展布特征:海底扇主要在 2 号断层南侧的陡坡带发育,凹陷内部主要为浅海相和半深海相,扇三角洲主要分布于陵南低凸起边缘和松南低凸起边缘的斜坡带;从早期到晚期,半深海范围不断扩大,海底扇、扇三角洲则逐步收缩,反映出相对海侵的过程。

(3)靠近陵南低凸起和松南低凸起的滨岸平原环境,主要发育含煤系烃源岩,有机质来源为陆生高等植物;扇三角洲前缘与浅海相、半深海相的过渡带,是陆源海相泥质烃源岩发育的有利区带,有机质来源为陆生高等植物与水生生物的混合。

## 参 考 文 献

- [1] 李友川,邓运华,张功成. 中国近海海域烃源岩和油气的分带性[J]. 中国海上油气, 2012, 24(1): 6-12.
- [2] 张功成,曾清波,苏龙,等. 琼东南盆地深水区陵水 17-2 大气田成藏机理[J]. 石油学报, 2016, 37(增刊1): 34-46.
- [3] 王振峰,甘华军,王华,等. 琼东南盆地深水区古近系层序地层特征及烃源岩分布预测[J]. 中国海上油气, 2014, 26(1): 9-16.
- [4] 蔡佳. 琼东南盆地古近系古地貌恢复及其对层序样式和沉积特征的控制[D]. 中国地质大学, 2009.
- [5] 宋广增,王华,孙志鹏,等. 琼东南盆地深水区陵水凹陷古近纪同沉积断裂对层序构成样式的控制[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(4): 9-18.
- [6] 张亚雄,朱筱敏,张功成,等. 琼东南盆地古近系陵水组层序地层特征[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(5): 33-37.
- [7] 陈欢庆,朱筱敏,张功成,等. 井震结合深水区物源分析:以



- 琼东南盆地深水区古近系陵水组为例[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(4): 552-558.
- [8] 王东东. 琼东南盆地古近系高分辨率层序地层研究[D]. 山东科技大学, 2009.
- [9] 陈宇航, 刘震, 姚根顺, 等. 一个深水区深层沉积相早期预测方法: 以南海北部深水区D凹陷渐新统为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(11): 2122-2130.
- [10] 王子嵩, 刘震, 孙志鹏, 等. 琼东南深水区乐东—陵水凹陷渐新统烃源岩早期预测及评价[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(3): 876-888.
- [11] 黄保家, 王振峰, 梁刚. 琼东南盆地深水区中央峡谷天然气来源及运聚模式[J]. 中国海上油气, 2014, 26(5): 8-14.
- [12] 徐新德, 张迎朝, 梁刚, 等. 南海北部琼东南盆地深水区烃源条件及天然气成藏机制[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(11): 1985-1992.
- [13] 杨金海, 李才, 李涛, 等. 琼东南盆地深水区中央峡谷天然气成藏条件与成藏模式[J]. 地质学报, 2014, 88(11): 2141-2149.
- [14] 黄保家, 李绪深, 王振峰, 等. 琼东南盆地深水区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.
- [15] 李文浩, 张枝焕, 李友川, 等. 琼东南盆地古近系渐新统烃源岩地球化学特征及生烃潜力分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 700-708.
- [16] 谢玉洪, 童传新, 范彩伟, 等. 琼东南盆地断裂系统特征与演化[J]. 大地构造与成矿学, 2015, 39(5): 795-807.
- [17] 王振峰, 孙志鹏, 朱继田, 等. 南海西部深水区天然气地质与大气田重大发现[J]. 天然气工业, 2015, 35(10): 11-20.
- [18] 雷超. 南海北部莺歌海—琼东南盆地新生代构造变形格局及其演化过程分析[D]. 中国地质大学, 2012.
- [19] HU B, WANG L, YAN W, et al. The tectonic evolution of the Qiongdongnan Basin in the northern margin of the South China Sea[J]. Journal of Asian earth sciences, 2013, 77: 163-182.
- [20] 李绪宣. 琼东南盆地构造动力学演化及油气成藏研究[D]. 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2004.
- [21] VAIL P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy(part 1): seismic stratigraphy interpretation procedure[M]// BALLY A W. Atlas of seismic stratigraphy. AAPG studies in geology #27, 1987: 1-10.
- [22] 黄第藩, 李晋超. 有关生油岩定量评价问题的讨论: 与李汶国同志商榷[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(2): 142-148.
- [23] 张金亮, 谢俊. 储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.

编辑:董庸

## Sedimentary characteristics and source rock development model of the Oligocene Lingshui Formation in Lingshui Sag, Qiongdongnan Basin

LIU Shiyu, CHEN Hongyan, LI Deyong, SUN Wanyuan, LI Congying

**Abstract:** It is very important to systemically study the sedimentary mechanism and distribution of source rock of the Oligocene Lingshui Formation in Lingshui Sag for the successive petroleum exploration in deep water area of Qiongdongnan Basin. Based on 2D seismic data and drilling data, the Lingshui Formation is subdivided into three third-order sequences. Within the sequence stratigraphic framework, six types of seismic facies such as mound, wedge, oblique, sheet, filling, and wave are identified. According to the theory of seismic sedimentology, five types of sedimentary facies such as coastal plain, shallow sea, bathyal sea, submarine fan, and fan delta are identified. The sedimentary characteristic of each sequence is analyzed, especially of the coastal plain and shallow sea affected by the separated paleo-uplifts. By integrated analysis of geochemical data and sedimentary facies, the source rock development model of Lingshui Formation is setup in Lingshui Sag. The coal-bearing rocks mainly developed in the coastal plain along Lingnan low uplift and Songnan low uplift to the east of sag, with sufficient input of terrestrial organic matter. The marine source rocks with terrestrial input mainly developed in the shallow sea and bathyal facies along those fan delta systems, in which terrestrial organisms is predominant and aquatic organisms is minor.

**Key words:** sedimentary facies; source rock; Lingshui Formation; Lingshui Sag; Qiongdongnan Basin

LIU Shiyu, First author: Engineer, engaged in reservoir prediction and hydrocarbon detection. Add: Mailbox No. 22, Potou District, Zhanjiang, Guangdong 524057, China

LI Deyong, Corresponding author: Associate professor, engaged in sedimentology and petroleum geology. Add: No. 238 Songling Road, Laoshan District, Qingdao, Shandong 266100, China