

刘海钰, 郭潇潇, 度雷, 等. 莺歌海盆地中新统海相烃源岩有机相特征[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(1): 28-35.

LIU Haiyu, GUO Xiaoxiao, TUO Lei, et al. Organic facies characteristics of Miocene marine source rocks in Yinggehai Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(1): 28-35.

莺歌海盆地中新统海相烃源岩有机相特征

刘海钰, 郭潇潇, 度雷, 吴杨瑜, 李珊珊, 夏磊

(中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海口 570100)

摘要: 为了实现莺歌海盆地中新统海相烃源岩的精细划分与评价, 结合地球化学测试资料, 对莺歌海盆地中新统烃源岩进行有机相划分, 建立了有机相与沉积相的对应关系, 进而预测烃源岩的平面展布。研究表明, 按照有机质来源与沉积环境可将莺歌海盆地中新统海相烃源岩分为 4 类: 海相陆源型、海相混源 I 型、海相混源 II 型、海相内源型。不同有机相与沉积相对应关系较好, 其中, 扇三角洲、滨海相对应海相陆源型, 内浅海对应海相混源 I 型, 外浅海、半深海对应海相混源 II 型, 外浅海、半深海和深海对应海相内源型。海相混源 II 型烃源岩分布广, 厚度大, 有机质丰度较高, 有机质类型以 II₂ 型干酪根为主, 少量 III 型干酪根, 保存条件较好, 是莺歌海盆地的主要气源岩。研究成果为预测莺歌海盆地中新统海相优质烃源岩的平面展布并准确评价其资源潜力提供了重要依据。

关键词: 莺歌海盆地; 中新统; 海相烃源岩; 生源构成; 沉积相; 烃源岩分布

中图分类号: P744.4, P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.033

0 引言

莺歌海盆地有良好的天然气发现和广阔的天然气勘探前景。已有研究成果表明, 中新统海相烃源岩是中国近海莺歌海盆地的主要油气供给层段^[1-2], 也是中国新生代海相烃源岩的典型代表。受限于勘探程度与研究历史, 关于莺歌海盆地烃源岩的研究较为有限, 主要集中于烃源岩地球化学^[1-3]及其演化特征研究^[3-5]。近年来, 相关学者加强了莺歌海盆地烃源岩发育机制方面的研究^[6-7], 建立了海相烃源岩发育模式, 预测了有利海相烃源岩的发育区域及层系。以往研究通常是将其作为一个整体来研究其地球化学特征、发育特征等, 缺少对烃源岩的精细刻画, 优质烃源岩的发育特征及生烃潜力研究依旧较为薄弱, 难以实现精细评价。

收稿日期: 2023-02-20

资助项目: 中海石油(中国)有限公司科技项目“南海西部高温高压气藏勘探开发技术及勘探新领域研究”(CNOOC-KJ 135 ZDXM 38 ZJ 02 ZJ)

第一作者: 刘海钰(1989—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事油气地球化学与成藏方面的研究工作. E-mail: liuhy83@cnooc.com.cn

源岩有机相概念已广泛用于石油勘探中, 是从成因上认识烃源岩特征和展布的有效手段^[8]。有机相不受地层或岩石单位的限制, 主要强调生源和形成环境, 是有机质丰度、有机质类型、有机质地球化学特征和沉积环境的综合体现^[9]。通过有机相分析可以实现海相烃源岩的精细划分与评价。本文在前人相关研究的基础上, 首次对莺歌海盆地海相烃源岩进行有机相分析, 通过沉积与有机地球化学分析手段相结合, 明确盆地内存在的烃源岩沉积有机相类型, 建立有机相与沉积相的对应关系, 预测海相烃源岩的平面展布, 以为油气勘探提供信息。

1 地质概况

莺歌海盆地是新生代沉积盆地, 最大沉积厚度超过 17 km, 盆地一级构造单元包括莺东斜坡、中央坳陷和莺西斜坡, 其中, 中央坳陷包括莺歌海凹陷、临高低凸起等二级构造单元^[10](图 1)。盆地构造演化、沉积充填可分为裂陷、裂后 2 个阶段, 自下而上发育了古近系岭头组湖相沉积, 崖城组及陵水组海陆过渡相-浅海相沉积, 新近系三亚组、梅山组、黄流组及莺歌海组滨浅海相沉积, 第四系乐东组滨

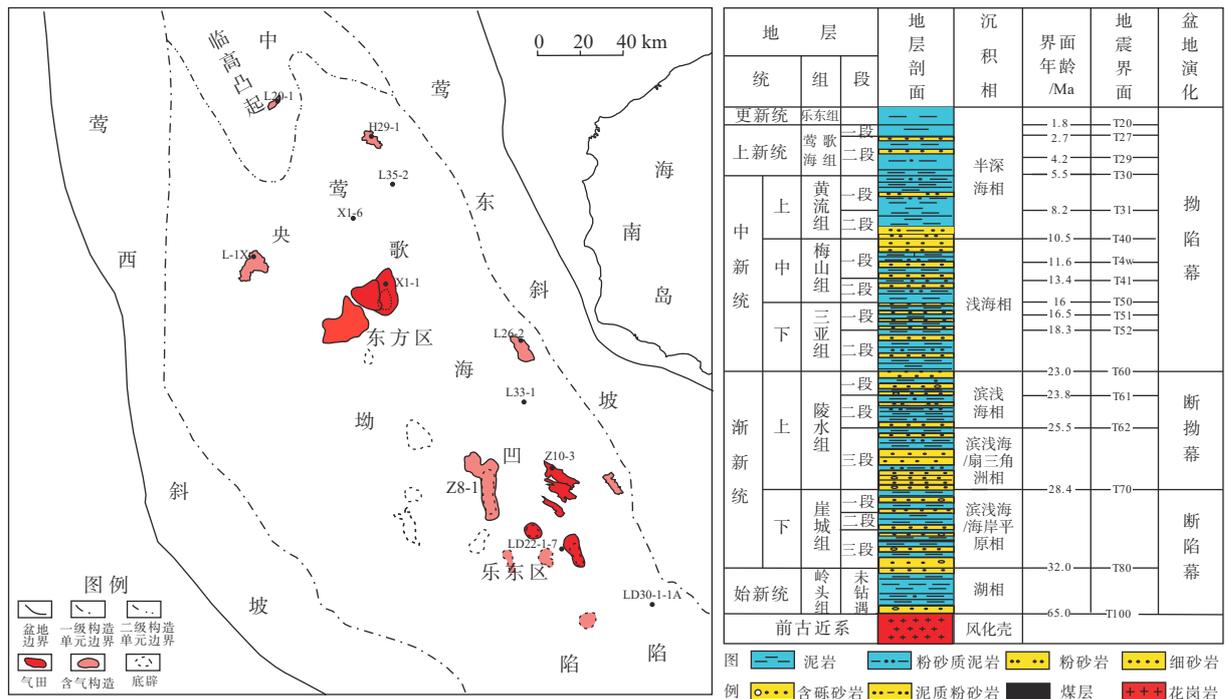


图 1 莺歌海盆地构造区划分及地层柱状图

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

浅海相沉积^[11-15](图 1)。莺歌海盆地主要气源岩为三亚组和梅山组浅海相泥岩^[1-2]。黄流组、莺歌海组以及第四系发育浅海陆架砂岩、半深海浊流沉积和海相泥岩,形成良好的储盖组合。

2 烃源岩沉积有机相

莺歌海盆地已钻井证实梅山组主要发育浅海(包括外浅海和内浅海)、扇三角洲、滨海及三角洲等沉积相带,三亚组发育内浅海、滨海及三角洲等相带,未钻遇外浅海相地层。

2.1 有机质丰度

钻遇中新统地层的探井大多数位于盆地边缘

或斜坡带,故有机质丰度总体不高,绝大多数烃源岩样品总有机碳含量(TOC)以<1%为主,但位于凹陷斜坡带的几口深井钻遇了 TOC 较高的中新统烃源岩。位于中央坳陷的 LD22-1-7 和 LD30-3-1A 井钻遇的梅山组(未钻穿)TOC 介于 0.49%~4.59%,平均 1.7%,达到好烃源岩级别。近年在凹陷斜坡带钻探的 Z10-3 井揭露,梅山组上部也存在有机质丰度高的泥岩,TOC 值为 0.57%~2.1%,平均 1.2%。

统计发现,不同沉积环境下烃源岩的有机质丰度呈现一定的规律(表 1):外浅海相烃源岩有机质丰度相对较高,TOC 和生烃潜量(S_1+S_2)均高于内浅海相和滨海相等沉积相带的烃源岩。梅山组外浅海相烃源岩 TOC、 S_1+S_2 和氯仿沥青“A”的平均值分别为 0.97%、1.37 mg/g 和 0.091 5%;内浅海相

表 1 莺歌海盆地中新统不同沉积相烃源岩有机质丰度评价

Table 1 Statistics in organic matter abundance of the Miocene source rocks of different facies in Yinggehai Basin

层位	岩性	沉积相	TOC/%	S_1+S_2 /(mg/g)	氯仿沥青“A”/%	HI/(mg/gTOC)
梅山组	泥岩	外浅海相	0.29 ~ 3.17	0.02 ~ 7.07	0.002 ~ 0.098	6.1 ~ 423.7
			0.97 (74)	1.37 (74)	0.091 5 (16)	112.0 (66)
		内浅海相	0.22 ~ 2.09	0.02 ~ 3.41	0.075 8 ~ 0.090 8	20 ~ 370.9
			0.54 (58)	0.59 (58)	0.083 3 (8)	108.1 (20)
			0.14 ~ 1.34	0.1 ~ 2.87	0.012 6 ~ 0.029 6	28 ~ 214.3
			0.49 (48)	0.71 (48)	0.017 6 (6)	77 (42)
三亚组	泥岩	扇三角洲、滨海、海底扇相	0.21 ~ 1.17	0.13 ~ 1.39	0.048 2 ~ 0.065 9	0.13 ~ 1.39
			0.62 (27)	0.80 (27)	0.058 4 (6)	0.80 (27)
		内浅海相	0.2 ~ 1.02	0.06 ~ 2.78	0.011 9 ~ 0.024 9	0.06 ~ 2.78
			0.57 (23)	0.76 (23)	0.017 7 (6)	0.76 (23)

注:表中数据格式为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

烃源岩 TOC、 S_1+S_2 和氯仿沥青“A”的平均值分别为 0.54%、0.59 mg/g 和 0.083 3%；滨海相烃源岩 TOC(平均值为 0.49%)、 S_1+S_2 (平均值为 0.71 mg/g) 和氯仿沥青“A”(平均值为 0.0176%)的含量均较低。三亚组也表现为内浅海相烃源岩的有机质丰度高于滨海相、三角洲相烃源岩的特征。整体来看,梅山组烃源岩的有机质丰度要稍高于三亚组。

2.2 有机质类型

有机质类型是评价烃源岩有机质的质量指标。在莺歌海盆地已钻遇的中新统烃源岩中,绝大多数

样品的氢指数(HI) < 300 mg/g TOC, 少量的样品 HI > 300 mg/g TOC, T_{max} 集中分布于 420~460 °C, 干酪根类型主要为 II₂-III 型。不同沉积环境发育的烃源岩干酪根类型也存在差异: 滨海相烃源岩 HI 值相对较低, 主要分布于 28~214.3 mg/g TOC, 平均 77 mg/g TOC, 以 III 型干酪根为主, 少量 II₂ 型; 内浅海相烃源岩 HI 介于 20~370.9 mg/g TOC, 平均 108.1 mg/g TOC, 干酪根类型为 II₂-III 型; 外浅海相烃源岩 HI 值相对较高, 为 6.1~423.7 mg/g TOC, 平均 112 mg/g TOC, 干酪根类型为 II₂-III 型, 但 II₂ 型干酪根占比明显增大(图 2)。

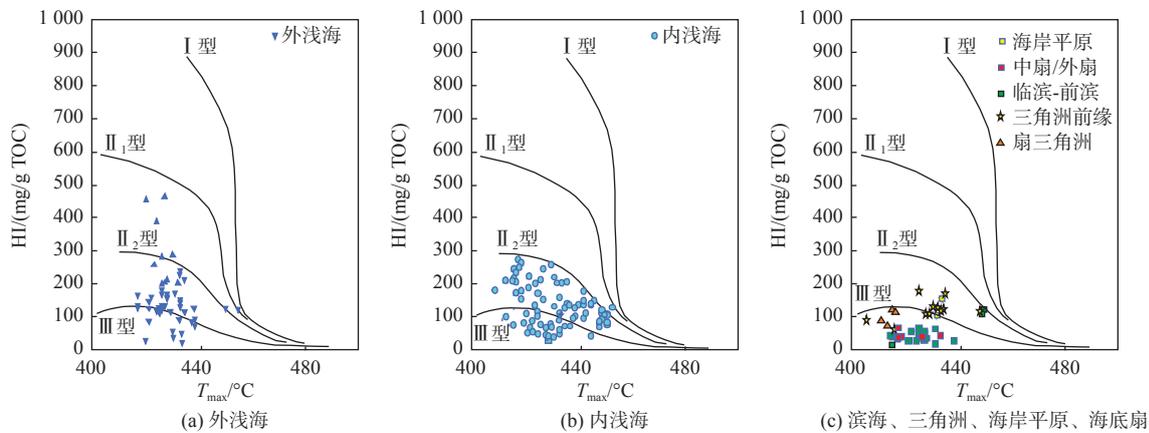


图 2 莺歌海盆地中新统不同沉积相烃源岩有机质类型

Fig. 2 Classification of organic matter types of the Miocene source rocks of different facies in the Yinggehai Basin

2.3 干酪根特征

干酪根显微组分相对组成可以划分烃源岩有机质类型^[16-17]。干酪根显微组成分析结果表明,莺歌海盆地中新统烃源岩镜质组和惰质组含量为 20%~50%, 灰色无定形占优势(30%~80%), 前人研究认为这种灰色无定形可能主要源于浮游植物的生物聚合物转变而成的灰色无定形地质聚合物以及部分腐殖物^[16-17]。从干酪根显微组分相对组成推测, 中新统烃源岩成烃母质既有高等植物的贡献又有浮游植物的贡献。

据莺歌海盆地钻获的烃源岩干酪根碳同位素分析结果, 中新统泥岩干酪根 $\delta^{13}C$ 明显偏重, 干酪根 $\delta^{13}C$ 介于 -24.1‰~-26.9‰, 高于下渐新统崖城组烃源岩干酪根的同位素值(-27.3‰~-27.14‰)。根本原因是二者光合作用利用的碳源不同, 海生植物利用水体中的碳酸盐而陆生植物利用大气中的 CO_2 , 导致了海相有机质碳同位素值要大于陆源有机质, 这两者的差值在古代沉积物中可达 3‰~5‰。

崖城组海岸平原相烃源岩陆源高等植物更加富集, 其干酪根碳同位素组成较轻, 而中新统海相沉积环境烃源岩的干酪根同位素组成明显偏重^[18-19]。除了不同地层烃源岩干酪根碳同位素有差异外, 统计还发现莺歌海盆地中新统不同沉积环境干酪根同位素也存在差异, 表现为: 海底扇及外浅海环境中烃源岩干酪根碳同位素(-25.15‰)偏重, 而内浅海的略偏轻(-26.8‰)(图 3)。

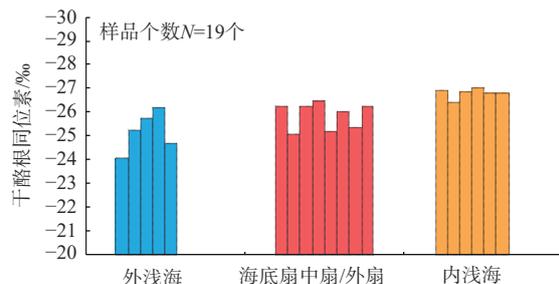


图 3 莺歌海盆地中新统烃源岩干酪根碳同位素沉积微相分布直方图

Fig. 3 Distribution of kerogen carbon isotope in sedimentary microfacies of the Miocene source rocks in the Yinggehai Basin

2.4 生物标志物特征

莺歌海盆地中新统海相烃源岩含有丰富的五环三萜烷、贫三环萜烷和四环萜烷(图 4)。从三环萜烷的分布情况来看, 莺歌海盆地梅山组烃源岩三环萜烷呈现出以 C_{23} 三环萜烷为主峰的近正态分布, 表现出海相烃源岩的特征, 三环萜烷相对于五环三

萜烷含量很低, 表明了细菌生源输入量大的特征^[20-22]。普遍检测到源于陆源高等植物的奥利烷(OL), OL/ C_{30} 藿烷比值为 0.16~1.46, 不同沉积相带该比值差别较大。海底扇及内浅海环境中烃源岩 OL/ C_{30} 藿烷比值较高, 为 0.49~1.48, 平均值 0.87; 外浅海环境发育烃源岩中该比值较低, 普遍 <0.5 。中新统烃源岩中伽马蜡烷丰度均较低, 伽马蜡烷指数 <0.3 , 说明其沉积环境水体盐度低, 还原性较弱^[20]。

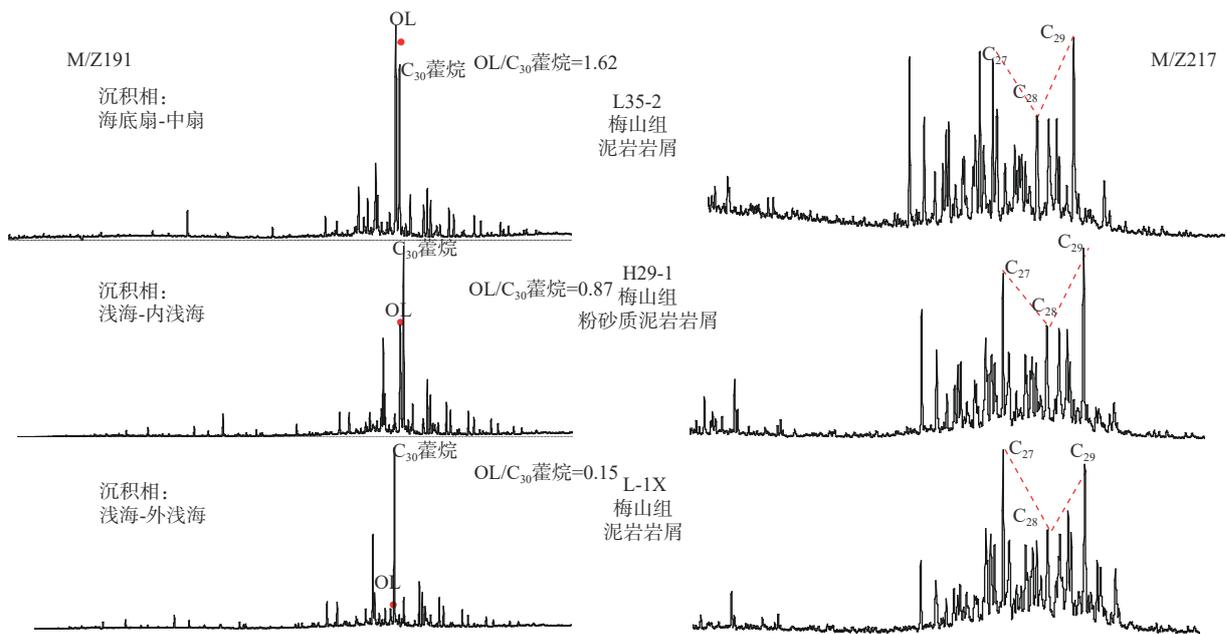


图 4 莺歌海盆地中新统烃源岩生物标志物对比

Fig.4 The chromatogram of the saturated hydrocarbon, mass chromatogram of terpenes (m/z191) and steranes (m/z217) from the Miocene source rocks in the Yinggehai Basin

甾烷组成中, 中新统海相烃源岩规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 呈不对称的“V”型分布, C_{27}/C_{29} 甾烷比值为 0.73~1.58, 说明其生源构成既有陆源高等植物输入亦有低等水生生物贡献。 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\beta/(\alpha+\beta)$ 是 2 个常用的成熟度参数^[21], C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 比值为 0.33~0.53, 平均值为 0.44; C_{29} 甾烷 $\beta/(\alpha+\beta)$ 比值为 0.41~0.50, 平均值为 0.44, 可见莺歌海盆地目前已钻遇的中新统烃源岩主要处于成熟阶段。

2.5 烃源岩生源构成

王铁冠等^[23] 根据每类生物标志物的生源意义, 归纳出烃源岩有机质的生源类型包括陆生高等植物生源、低等水生生物生源、色素生源以及未知生源。依据每类化合物在馏分中的相对定量数据, 可以计算出每个馏分中有机化合物的生源构成百分比, 进而得出有机质生源构成参数。该生物标

志物组合法可以定量剖析不同类型烃源岩的生源构成。

本文依据该生物标志物生源分类方法, 统计了莺歌海盆地不同沉积类型烃源岩的生源构成参数(表 2)。菌藻类生源总量/陆源生源总量比值可以直观反映菌藻类生源与陆源生源输入的相对比率, 外浅海烃源岩菌藻类生源总量/陆源生源总量比值最高, 为 1.16~1.41, 平均 1.29; 扇三角洲及滨海沉积烃源岩中该比值最低, 为 0.54~1.45, 平均 0.76; 内浅海烃源岩中该比值介于前两者之间, 为 0.62~1.03, 平均 0.79。

统计生源构成比例发现: 外浅海烃源岩高等植物生源输入所占比例为 36.9%~43.5%, 平均 39.7%, 低等生物生源输入所占比例约为 50.1%~52.2%, 平均 50.8%; 内浅海沉积环境发育的烃源岩高等植物生源输入所占比例为 44.9%~55.7%, 平均 51.1%, 低等生物生源输入所占比例约为 34.7%~46.3%, 平

表2 莺歌海盆地不同沉积环境下烃源岩生源构成参数表

Table 2 Source rock composition parameters of different sedimentary environments in the Yinggehai Basin

沉积相	井号	层位	菌藻类生源/陆源生源总量	藿烷/陆源萜类	甾烷/藿烷	生源构成比例/%			
						高等植物	菌藻	细菌	其他
外浅海	X1-1_1	梅山组	1.41	1.46	0.34	36.9	28.3	23.9	10.9
	X1-1_2	梅山组	1.16	1.52	0.32	43.5	26.6	23.6	6.3
	X1-6	梅山组	1.29	1.12	0.3	38.8	29.1	21	11.1
内浅海	H29-1_1	梅山组	0.76	1.31	0.26	53.2	21.9	18.8	6.1
	H29-1_2	梅山组	1.03	1.28	0.29	44.9	27.6	18.7	8.8
	H29-1_3	三亚组	0.81	1.64	0.25	49.7	19.8	20.6	10
	H29-1_4	梅山组	0.62	1.75	0.25	55.7	18.4	16.3	9.5
	H29-1_5	梅山组	0.7	1.15	0.4	52.5	20.9	16.1	10.5
	L26-2_1	梅山组	0.78	1.27	0.21	50.9	21.1	18.5	9.6
	L26-2_2	梅山组	0.76	0.93	0.35	53.4	24.5	16.1	6
	L20-1	梅山组	0.85	1.68	0.19	48.6	24.7	16.6	10.1
扇三角洲、滨海	H29-1_6	三亚组	0.71	1.11	0.42	55.3	23.3	15.9	5.5
	H29-1_7	梅山组	0.79	2.01	0.3	49.6	20.6	18.5	11.3
	L20-1_1	三亚组	0.82	1.23	0.3	52.2	27.1	16	4.7
	L20-1_2	三亚组	0.82	1.5	0.34	49.9	24.4	16.7	9
	L33-1	梅山组	0.69	1.16	0.36	53.1	14.5	21.9	10.5

均 40.1%; 扇三角洲及滨海沉积环境发育的烃源岩高等植物生源输入所占比例为 49.6%~55.3%, 平均 52.02%, 低等生物生源输入所占比例约为 36.4%~43.1%, 平均 39.8%。此外, 藿烷类/陆源萜类可反映烃源岩母质中细菌生源与陆源高等植物生源产物的比率^[20-24], 甾烷类/藿烷类比值反映藻类生源与细菌生源的比率^[20-24], 据此推测莺歌海盆地中新统烃源岩细菌生源占比为 15.9%~23.9%, 平均值为 18.7%, 占比较大, 反映出相对偏氧化的沉积环境。

可见, 莺歌海盆地中新统烃源岩均呈现陆源高等植物生源和低等生物生源的混源输入特征, 但扇三角洲及滨海沉积环境发育的烃源岩具有较多的陆源高等植物生源, 外浅海沉积环境发育的烃源岩陆源高等植物生源贡献最少, 内浅海沉积环境发育的烃源岩陆源高等植物生源贡献居于二者之间。

3 沉积环境对有机相的控制作用

前人研究认为, 古气候、古生产力、古氧相、沉积演化以及海平面变化等因素控制着莺歌海盆地中新统海相烃源岩的发育, 归根到底是古生产力和保存条件两大因素控制着研究区烃源岩的发育^[6]。

中新统沉积期, 莺歌海盆地处于热沉降期, 盆地构造形态简单, 整体呈“U”形结构, 受构造活动影响较小, 海平面变化是盆地充填演化的首要控制

因素。三亚—黄流组沉积期, 南海相对海平面具有先升后降再缓慢上升的特征, 在三亚组、梅山组早期达到最高, 受盆地形态和海平面变化影响, 该时期陆源碎屑搬运至盆地中心难度最大, 有利于海相有机质的发育, 盆地边缘则主要发育裙带状的滨海相及受河口控制的三角洲相, 因此, 盆地边缘易发育陆源有机质和海陆混源(以陆源为主)有机质。

根据烃源岩发育控制因素, 建立研究区烃源岩的发育模式(图 5): 中新世时期, 莺歌海盆地边缘发育滨浅海相沉积, 靠近物源的滨浅海位置陆源有机质供应充足, 但水体较浅, 沉积环境还原性较弱, 有机质的保存条件较差, 主要发育非—差烃源岩。靠近盆地中央的浅海相具有陆源和海源双源输入特征, 越靠近盆地中央水体变深, 保存条件变好, 可发育中等—好烃源岩。盆地中央发育半深海—深海沉积相, 以低等水生生物输入为主, 保存条件好, 可发育好烃源岩。

4 烃源岩沉积有机相划分及分布特征

国内外学者^[7,25-26]根据有机质的生源输入特征将中—新生代大陆边缘盆地海相烃源岩划分为 3 类: 以藻类输入为主的内源型、以高等植物输入为主的陆源型和介于两者之间的混合生源型。

烃源岩的干酪根和生物标志化合物具有明确

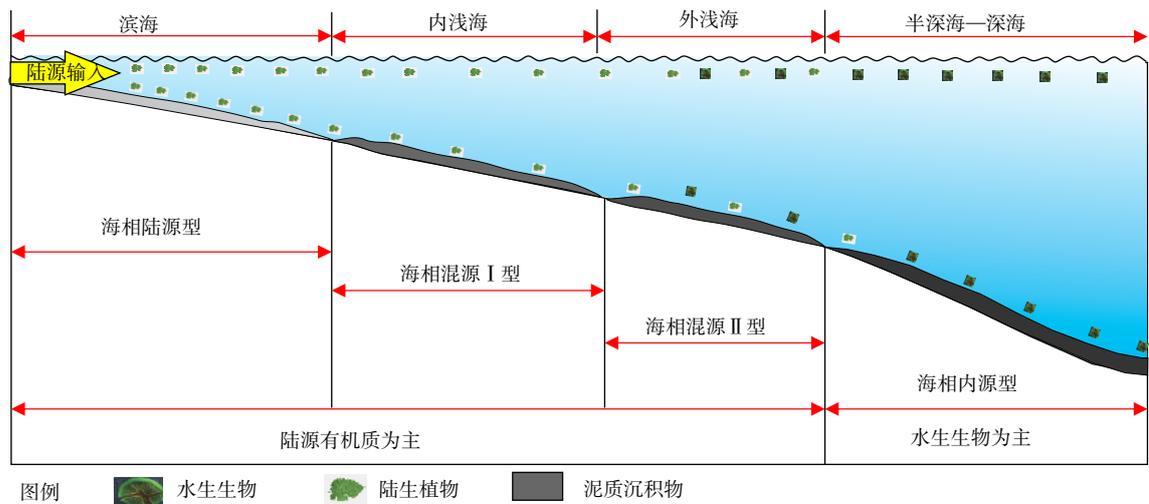


图 5 莺歌海盆地海相烃源岩发育模式

Fig.5 Model for the development of marine source rock in the Yinggehai Basin

的生源和沉积环境含义,可以很好地表征海相烃源岩的成因。本文在确定海相沉积环境的前提下,分析海相烃源岩形成环境与分子地球化学特征的耦合关系,划分出莺歌海盆地新生代海相烃源岩的成因类型,并提出其相应的判识标志。

莺歌海盆地烃源岩中新统有机质来源可以分为陆源和海源两部分,按照陆源有机质比例减少、

海源有机质比例增加,由陆向海,将莺歌海盆地中新统烃源岩有机相分为 3 类 4 种成因类型(表 3),即海相陆源型、海相混源型和海相内源型,其中,根据低等水生生物和高等植物贡献比例,海相混源型又可进一步划分为陆源高等植物贡献较大的海相混源 I 型和低等水生生物贡献较大的海相混源 II 型。

表 3 莺歌海盆地中新统海相烃源岩有机相类型划分

Table 3 Classification of the Miocene marine source rocks in the Yinggehai Basin

烃源岩特征	海相陆源型	海相混源 I 型	海相混源 II 型	海相内源型
沉积相	扇三角洲、滨海	内浅海	外浅海、半深海	外浅海、半深海和深海
有机质丰度	0.14%~1.34%, 平均 0.53%	0.22%~2.09%, 平均 0.59%	0.29%~3.17%, 平均 0.97%	/
干酪根类型	以 III 型为主	以 III 型为主, 少量 II ₂ 型	以 II ₂ 型为主, 少量 III 型	推测干酪根以 II ₁ 和 II ₂ 型为主
干酪根同位素	平均值为-26.8‰	平均值为-25.8‰	平均值为-25.1‰	/
特殊生物标志物	丰富的奥利烷 OL/C ₃₀ 藿烷: 0.49~1.62/0.88	一定丰度的奥利烷 OL/C ₃₀ 藿烷: 0.10~0.98/0.46	少量的奥利烷 OL/C ₃₀ 藿烷: 0.08~0.41	/
有机质生源	陆源有机质为主; 菌藻类生源总量/陆源生源总量为 0.54~1.45, 平均 0.76	海陆混源, 陆源有机质居多; 菌藻类生源总量/陆源生源总量为 0.62~1.03, 平均 0.79	海陆混源, 海源有机质居多; 菌藻类生源总量/陆源生源总量为 1.16~1.41, 平均 1.29	推测海源有机质为主
生源构成比例	高等植物占比为 49.6%~55.3%, 平均 52.02%; 低等生物占比为 36.4%~43.1%, 平均 39.8%	高等植物占比为 44.9%~55.7%, 平均 51.7%; 低等生物占比为 34.7%~46.3%, 平均 40.1%	高等植物占比为 36.9%~43.5%, 平均 39.7%; 低等生物占比为 39.2%~43.1%, 平均 50%	/

(1) 海相陆源型 该类型烃源岩主要发育在海岸平原、三角洲平原和滨海相,有机质丰度为 0.14%~1.34%, 平均值为 0.53%。干酪根类型主要以 III 型为主。碳同位素平均值为-26.8‰, 富含陆源输入的奥利烷, 奥利烷指数(OL/C₃₀ 藿烷)为 0.49~1.48, 高等植物占比 52%, 以河流输入及原地陆源有机质为主。该有机相在盆地边缘环带状分布, 大套泥岩不发育, 有机质保存条件较差, 烃源岩埋藏浅,

成熟度不高, 为非—差烃源岩。

(2) 海相混源 I 型 该类烃源岩主要发育在内浅海, 有机质丰度为 0.22%~2.09%, 平均值为 0.59%。干酪根以 III 型为主, 少量 II₂ 型, 碳同位素平均值为-25.8‰, 一定丰度的奥利烷, 奥利烷指数为 0.10~0.98, 高等植物占比 51%, 有机质生源为海陆混源, 陆源高等植物贡献比例较大。该有机相分布在盆地边缘, 保存条件较差, 为差—中等烃源岩。

(3) 海相混源Ⅱ型 主要发育在外浅海和半深海环境,有机质丰度为0.29%~3.17%,平均值为0.97%。干酪根类型以Ⅱ₂型为主,少量Ⅲ型,碳同位素平均值为-25.1‰,少量的奥利烷,奥利烷指数为0.08~0.41,高等植物占比40%,为盆地内钻井揭示的最好烃源岩类型。有机质生源为海陆混源,低等水生生物贡献比例居多。该有机相分布在盆地中央,分布范围广,厚度大,保存条件较好,是莺歌海盆地主力烃源岩。

(4) 海相内源型 目前未有钻井揭示,推测该类烃源岩主要发育在外浅海、半深海和深海环境,母质来源以海源低等水生生物有机质为主,干酪根以Ⅱ₁和Ⅱ₂型为主。

沉积相是沉积环境的物质表现,沉积环境对沉积相和烃源岩发育的控制作用相似,不同类型烃源岩与沉积相存在一定的对应关系^[27-28]。沉积相带横向上的分布控制了烃源岩的平面展布,从盆地边缘到凹陷中心,有机相带逐渐从海相陆源型向海相内源型过渡,有机相带变好,生烃能力增强。其中,海相混源Ⅱ型分布在盆地中央外浅海、半深海沉积相带,分布范围广,泥岩厚度大,最大厚度达5 km,砂泥比<30%,保存条件较好,资源潜力大,是莺歌海盆地主力烃源岩。

5 结论

(1) 莺歌海盆地中新统烃源岩按照陆源有机质比例由高到底,可分为3类4种成因类型,即海相陆源型、海相混合Ⅰ型和海相混合Ⅱ型、海相内源型。海相陆源型主要发育在海岸平原、三角洲平原和滨海相;海相混源Ⅰ型烃源岩主要发育在内浅海;海相混源Ⅱ型主要发育在外浅海和半深海环境;海相内源型,目前未有钻井揭示,推测主要发育在外浅海、半深海和深海环境。

(2) 沉积相带横向上的分布控制了烃源岩的平面展布,从盆地边缘到凹陷中心,有机相带逐渐从海相陆源型向海相内源型过渡,有机相带变好,生烃能力增强。其中,海相混源Ⅱ型分布在盆地中央外浅海、半深海沉积相带,分布范围广,泥岩厚度大,保存条件较好,资源潜力大,是莺歌海盆地主力烃源岩。

参考文献:

[1] 邓鸣放,张宏友,梁可明,等. 琼东南、莺歌海盆地油气特征及

其烃源岩研究[J]. 中国海上油气(地质), 1990, 4(1): 15-22.

- [2] 黄保家,肖贤明,董良伟. 莺歌海盆地烃源岩特征及天然气生烃演化模式[J]. 天然气工业, 2002, 22(1): 26-30.
- [3] 王元,李贤庆,王刚,等. 莺歌海盆地中新统海相烃源岩地球化学特征及生烃潜力评价[J]. 现代地质, 2018, 32(3): 500-510.
- [4] 黄保家,黄合庭,李里,等. 莺歌海盆地海相烃源岩特征及高温高压环境有机质热演化[J]. 海相油气地质, 2010, 15(3): 11-18.
- [5] 姜建群,胡建武,李明葵. 莺歌海盆地高温超压环境有机质热演化及成烃模式探讨[J]. 特种油气藏, 2000, 7(2): 4-8.
- [6] 徐新德,杨计海,刘海钰,等. 莺歌海盆地浅海环境下烃源岩有机质形成机制[J]. 地球科学, 2019, 44(8): 2643-2653.
- [7] 徐建永,赵牛斌,徐仕琨,等. 莺歌海盆地中新统海相烃源岩发育主控因素及模式[J]. 地质科技通报, 2021, 40(2): 54-63.
- [8] ROGERS M A. Application of Organic Facies Concepts to Hydrocarbon Source Rock Evaluation[C]. Bucuresti: 10th World Petroleum Congress, 1979: 25-30.
- [9] 郝芳,陈建渝,孙永传,等. 有机相研究及其在盆地分析中的应用[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 77-86.
- [10] 崔涛,解习农,任建业,等. 莺歌海盆地异常裂后沉降的动力学机制[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2008, 33(3): 351-356.
- [11] 李思田,解习农,焦养泉. 南海北部边缘盆地充填序列和充填样[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 70-74.
- [12] 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.
- [13] 龚再升,李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 149-153.
- [14] 谢玉洪,王振峰,解习农,等. 莺歌海盆地坡折带特征及其沉积体系的控制[J]. 地球科学, 2004, 29(5): 569-574.
- [15] 张建新,范彩伟,谭建财,等. 莺歌海盆地中新世沉积体系演化特征及勘探意义[J]. 地质科技情报, 2019, 38(6): 51-59.
- [16] 傅家谟,秦匡宗. 干酪根地球化学[M]. 广州: 广东省科技出版社, 1995.
- [17] 肖贤明. 有机岩石学及其在油气评价中的应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 1992.
- [18] HUANG B J, XIAO X M, LI X X. Geochemistry and origins of natural gases in the Yinggehai and Qiongdongnan Basins, Offshore South China Sea[J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 1009-1025.
- [19] 黄第藩. 陆相烃源岩有机质中碳同位素组成的分布特征[J]. 中国海上油气(地质), 1993, 7(4): 1-5.
- [20] MOLDOWAN J M, SEIFERT W K, GALLEGOS E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1985, 69: 1255-1268.
- [21] PETERS K E, MOLDOWAN J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments* [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- [22] PHILIP R P, GILBERT T D. Biomarker distribution in oils predominantly derived from terrigenous source material[M]// LEYTHAEUSER D, RULLKOTTER J. *Advances in Organic Geochemistry*. Oxford: Pergamon Press, 1985: 73-84.
- [23] 王铁冠. 生物标志物地球化学研究[M]. 武汉: 中国地质大学

- 出版社, 1990.
- [24] 王铁冠. 生物标志物组合与生源构成在天然气源岩研究中的应用[M]//天然气地质研究. 北京: 石油工业出版社, 1992: 130-137.
- [25] 戴娜, 钟宁宁, 邓运华, 等. 中生代—新生代大陆边缘盆地海相烃源岩成因类型[J]. 石油学报, 2015, 36(8): 941-953.
- [26] 李丹, 康洪全, 郝立华, 等. 西南非海岸盆地过渡期海相烃源岩有机相特征及其平面预测[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(5): 21-60.
- [27] 陈践发, 张水昌, 鲍志东, 等. 海相优质烃源岩发育的主要影响因素及沉积环境[J]. 海相油气地质, 2006, 11(3): 49-54.
- [28] 杨海风, 涂翔, 赵弟亮, 等. 渤海湾盆地莱州湾沙河街组第三、第四段烃源岩有机相特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2021, 48(1): 72-81.

Organic facies characteristics of Miocene marine source rocks in Yinggehai Basin

LIU Haiyu, GUO Xiaoxiao, TUO Lei, WU Yangyu, LI Shanshan, XIA Lei

(Hainan Branch of CNOOC(China) Ltd., Haikou 570100, China)

Abstract: To evaluate the Miocene marine source rocks in the Yinggehai Basin, based on the geochemical data of source rocks, the organic facies of the Miocene source rocks were classified, the corresponding relationship between organic facies and sedimentary facies was clarified, and the planar distribution of the source rocks was predicted. Results show that the Miocene marine source rocks could be divided into four types according to the source of organic matter and sedimentary environments: marine terrestrial type, marine mixed source type I, marine mixed source type II, and marine endogenous type. The corresponding relationship between different organic facies and sedimentation is good, among which fan delta and coastal areas correspond to marine terrigenous types, inner shallow sea corresponds to marine mixed source type I, outer shallow sea and half deep sea corresponds to marine mixed source type II, and outer shallow sea, semi deep sea and deep sea corresponds to marine endogenous types. Type II hydrocarbon source rocks are widely distributed with large thickness and rich organic matters. The organic matter is mainly type II₂, and a small amount of type III, and have good preservation conditions. They are the main gas source rocks in the Yinggehai Basin. This study provided an important basis for predicting the planar distribution of high-quality marine source rocks in the Yinggehai Basin and accurately evaluating their resource potential.

Key words: Yinggehai Basin; Miocene; marine source rock; biological source composition; sedimentary facies; distribution of hydrocarbon source rocks