

马宁, 龙祖烈, 柳保军, 等. 白云凹陷不同相带烃源岩地球化学特征及成藏贡献[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(10): 25-32.

白云凹陷不同相带烃源岩地球化学特征及成藏贡献

马宁^{1,2}, 龙祖烈^{1,2}, 柳保军^{1,2}, 陈聪^{1,2}, 李清泉^{1,2}

(1 中海石油深海开发有限公司, 深圳 518067; 2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518067)

摘要:根据烃源岩生物标志化合物、孢粉藻类组合及分析,并结合整体沉积背景,分析白云凹陷不同相带烃源岩的地球化学特征,并确定不同相带烃源岩的成藏贡献。研究表明,文昌组中深湖相烃源岩有机质丰度属于中等级别,有机质类型为Ⅱ₁型,来源为藻类等水生生物,其干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值最轻, $\delta^{13}\text{C}$ 值 $<-28\text{‰}$ 。恩平组浅湖相和文昌组浅湖相有机质均来源于陆源高等植物,干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 -27‰ ,有机质丰度属于中等—极好级别,有机质类型为Ⅱ₂—Ⅲ型。恩平组海侵湖相烃源岩富海相沟鞭藻及三芳甲藻甾烷,干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值最重,约为 -25‰ 。白云凹陷原油 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要介于 -28‰ ~ -27‰ ,主要来源于文昌组和恩平组的浅湖相烃源岩,原油类型的分布受沉积相带的控制,个别近洼陷的井存在文昌组中深湖相烃源岩的贡献,恩平组海侵型烃源岩对成藏几乎无贡献。

关键词:白云凹陷; 烃源岩; 碳同位素; 油气成因

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.169

0 引言

白云凹陷是珠江口盆地深水区一个巨大的富生气凹陷,凹陷面积约为 $20\,000\text{ km}^2$,新生代最大沉积厚度达 11 km 。迄今白云凹陷已钻遇了一大批构造,发现了多个油气田。白云凹陷的油气成藏具有“多洼源、多阶供烃、油气共存”的特点。关于白云凹陷文昌组、恩平组的沉积背景以及已发现油气成因和来源,前人已作过较为深入的研究^[1-4],但由于白云凹陷钻遇文昌组和恩平组烃源岩的井位较少,对白云凹陷是否存在始新统文昌组中深湖相烃源岩、恩平组是否为海相沉积以及海相烃源岩的成藏贡献还存在着争议。庞雄等^[5]认为白云凹陷快速沉降,易于形成沉积厚度大、分布广泛的始新统中深湖相烃源岩。张功成等^[6]认为白云凹陷恩平组沉积时期北坡发育海陆过渡相三角洲,凹陷深部为浅海相沉积。李友川等^[7-8]、郭玉峰等^[9]认为白云凹陷已发现原油明显存在海相烃源岩的贡献,海

相烃源岩为深水区主要烃源岩。朱俊章等^[3-4,10]认为白云凹陷原油和天然气主要来源于恩平组煤系烃源岩,可能存在部分珠海组海相烃源岩的贡献。

笔者通过地球化学和古生物分析,结合白云凹陷烃源岩沉积相,明确了白云凹陷文昌组和恩平组主要为湖相沉积,其中白云东洼恩平组存在局部海侵,并详细分析了原油的成因和来源,认为白云凹陷的原油主要来源于文昌组、恩平组的浅湖相烃源岩,恩平组海相烃源岩对成藏几乎无贡献。本次研究为文昌组和恩平组整体沉积背景分析和白云凹陷油气勘探方向提供了重要地质依据。

1 地质背景

白云凹陷位于南海北部陆坡深水区,整体呈NEE向展布,内部分为白云西洼、白云主洼和白云东洼3个次级洼陷(图1)。凹陷北接番禺低隆起,西接云开低凸起,南邻云荔低隆起。盆地演化经历了断陷期、裂后断拗转换及热沉降、新构造运动及热沉降拗陷3个演化阶段。垂向上具有“下断上拗”的双层盆地结构和“先陆后海”的沉积组合。烃源岩主要为文昌组、恩平组及珠海组泥岩,其中,文昌组为湖相暗色泥岩;恩平组以浅湖及河湖沼泽相泥岩为主,局部为海泛泥岩;珠海组以海相泥岩为主。

收稿日期: 2020-10-29

资助项目: “十三五”国家重大专项“珠江口盆地陆缘深水区油气地质及勘探关键技术”(2016ZX05026-003-006)

作者简介: 马宁(1988—),女,博士,工程师,主要从事油气地球化学方面的研究工作。E-mail: mndd2007@163.com

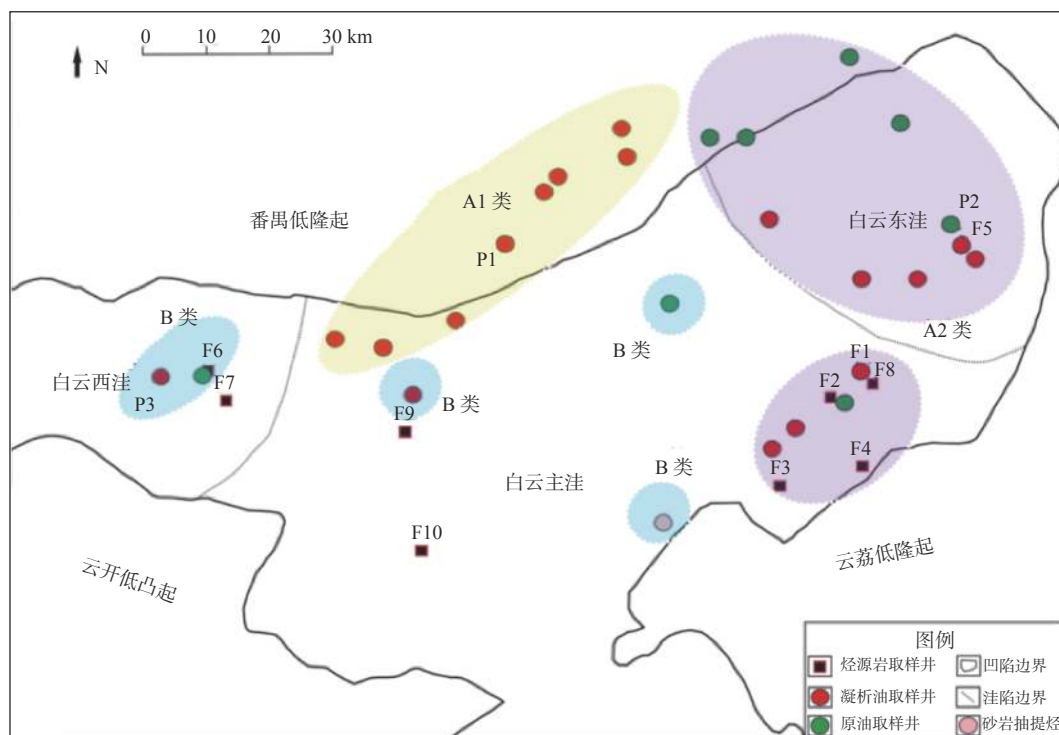


图1 白云凹陷地质构造及取样井位

Fig.1 Tectonic map and sampling well locations in the Baiyun Sag

2 烱源岩分布及地球化学特征

2.1 烱源岩分布

裂陷期文昌-恩平组为白云凹陷主要的烱源岩发育层系。探井和地震相分析表明,白云凹陷文昌组沉积时期主要以滨浅湖、中深湖和三角洲沉积为主,文昌组地层厚度最大可达 6 km。文昌组早期强烈拉张,各次洼分割性较强,表现为多隆洼的特征,中深湖相烱源岩呈多点分散分布特征。在裂陷中—晚期,白云凹陷形成统一湖盆,中深湖相烱源岩主要分布于白云主洼南部及东南主控断裂一侧,面积近 4 900 km²,白云主洼北部主要发育三角洲-浅湖相烱源岩。恩平组沉积时期,盆地处于拉张断陷晚期,湖盆变宽变浅,沉积物主要以滨浅湖相和河流三角洲相沉积为主,恩平组地层厚度最大为 1 500 m。白云主洼北部缓坡带发育大型三角洲-浅湖相烱源岩,白云主洼中心发育中深湖相烱源岩,白云主洼南部及周缘洼陷发育浅湖相烱源岩,白云东洼局部发育海侵湖相沉积。

2.2 烱源岩地球化学特征

2.2.1 文昌组湖相泥岩

目前仅有少数井钻遇文昌组,主要分布在白云

主洼东部,包括 F1、F2、F3、F4 井。烱源岩生物标志化合物、孢粉藻类组合及碳同位素分析表明,文昌组发育中深湖相(F2、F3、F4 井)和浅湖相(F1 井) 2 类烱源岩(表 1,图 2a、2b)。烱源岩地球化学分析表明,中深湖相烱源岩的母质类型属于 II₁ 型,泥岩氢指数 HI 为 208~336 mg/g,均值为 236 mg/g;有机碳(TOC)为 1.1%~1.6%,均值为 1.3%;生烱潜量(S₁+S₂)为 2.38~6.25 mg/g,均值为 5.0 mg/g,属于中等丰度烱源岩(图 3、4)。生物标志化合物特征表现为低 Pr/Ph 比值,来源于陆源有机质的双杜松烷(W、T)化合物及奥利烷(OL)含量较低,C₂₇、C₂₈、C₂₉ 规则甾烷中以水生生物来源的 C₂₇ 为主峰,贫 C₃₀ 4-甲基甾烷,贫三芳甲藻甾烷,干酪根 δ¹³C 值<-28‰,反映有机质主要来源于偏还原环境的中深湖的藻类等水生生物(表 1、图 2a)。

F2 井在文昌组钻遇了近 50 m 的厚层泥岩,浮游藻类和孢粉相分析结果表明,烱源岩孢粉藻类组成中浮游藻类占 70%,反映有机质来源以湖藻类生源为主。其中,淡水盘星藻最多,占 39.4%~51%;粒面球藻占 15%~29%。盘星藻类的富集表明存在富营养水体、高生产力的深湖环境^[11-13],孢粉藻类分析所反映的沉积古环境与烱源岩生物标志化合物特征及碳同位素所反映的沉积相符,同时也证实了文昌组存在中深湖相沉积。目前白云凹陷钻遇

表 1 白云凹陷不同相带烃源岩地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of source rocks in different sedimentary facies in Baiyun Sag

3套6类岩相		沉积环境	有机质来源参数				海相/海侵	母质类型
层段	沉积相	Pr/Ph	奥利烷/C ₃₀ 藿烷	双杜松烷/C ₃₀ 藿烷	C ₃₀ 4-甲基甾烷	三芳甲基甾烷	δ ¹³ C _{干酪根} /‰	干酪根
文昌组	中深湖相	1.0~1.4	0.03~0.26	0.02~0.2	贫	无	<-28	Ⅱ ₁
	浅湖相	1.3~2.8	0.4~2.0	0.2~2.4	贫	无	-27	Ⅱ ₂
恩平组	浅湖相	1.0~6.7	0.1~0.5	0.2~6.5	贫	无	-27	Ⅱ ₂ -Ⅲ
	海侵/海相	1.8~2.4	1.1~1.7	0.5~2.4	贫	富集	-25	Ⅱ ₂
珠海组	陆棚相	1.2~2.2	0.1~0.5	0.1~0.5	贫	富集		Ⅱ ₂ -Ⅲ
	海相三角洲	5.1~8.7	0.5~2.8	0.6~1.4	贫	近陆坡富集		Ⅱ ₂ -Ⅲ

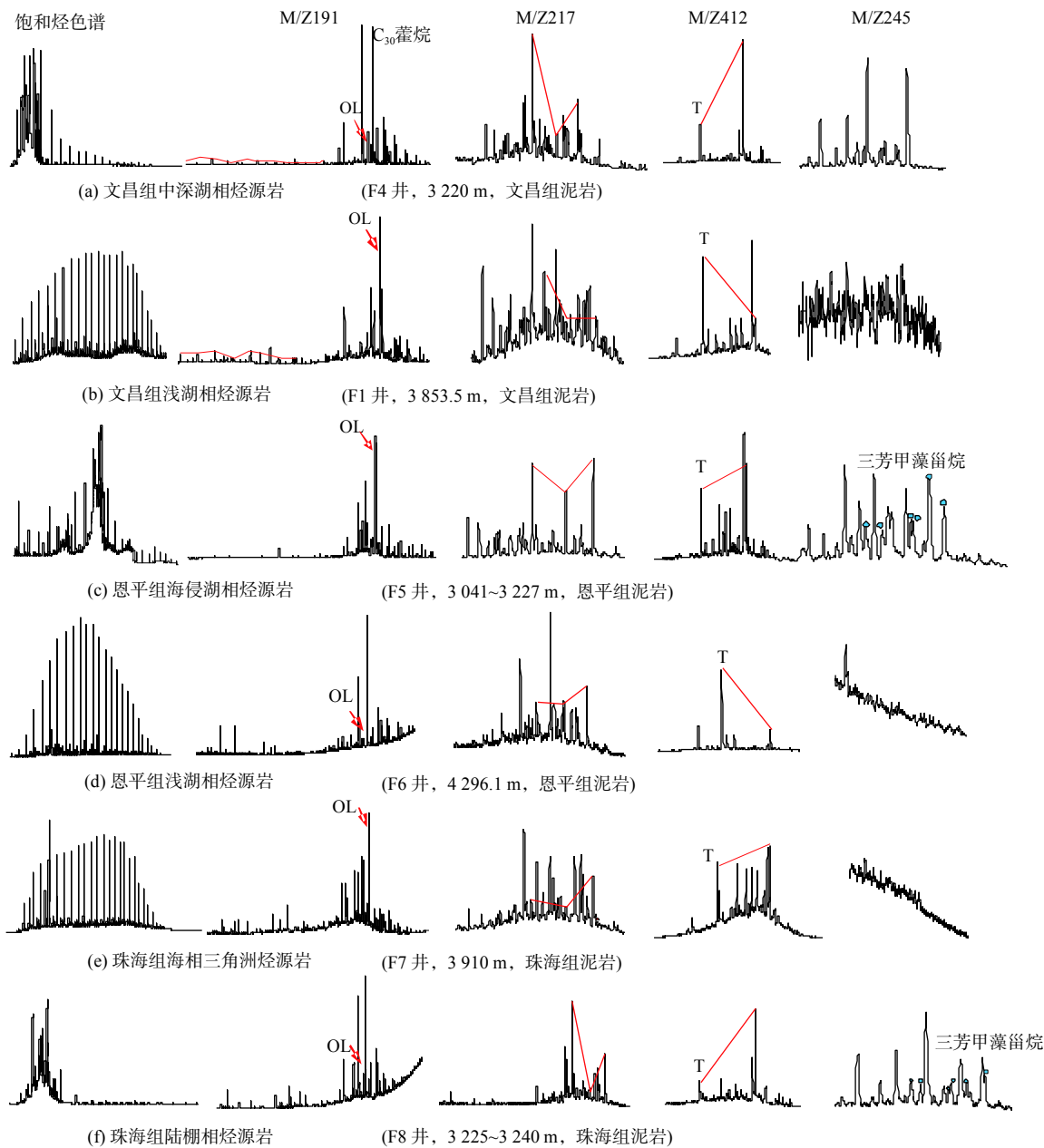


图 2 白云凹陷不同相带烃源岩生物标志化合物指纹特征

Fig.2 Fingerprint characteristics of source rock biomarkers in different sedimentary facies in Baiyun Sag

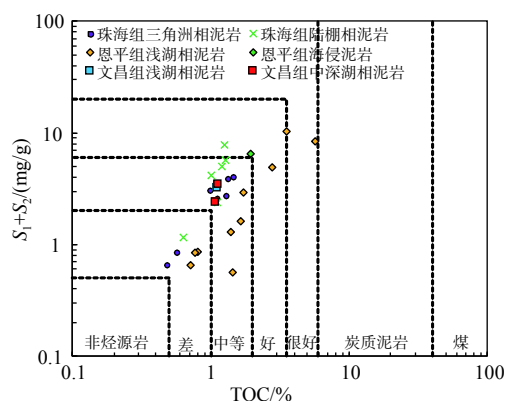


图3 白云凹陷烃源岩生烃潜力评价

Fig.3 Hydrocarbon generation potential evaluation of source rocks in Baiyun Sag

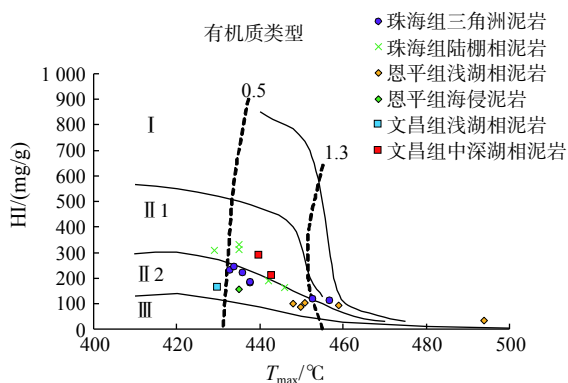


图4 白云凹陷烃源岩有机质类型

Fig.4 Organic matter types of source rocks in Baiyun Sag

的该类文昌组中深湖相烃源岩与珠一坳陷文昌组中深湖相烃源岩存在差异, 珠一坳陷文昌组中深湖相烃源岩普遍具有极高的 C_{30} 4-甲基甾烷, 且已钻遇烃源岩的 TOC 和 HI 均高于白云凹陷文昌组中深湖相烃源岩^[14-15]。大量的研究表明, 淡水湖泊中 C_{30} 4-甲基甾烷主要来源于沟鞭藻类, 烃源岩的 C_{30} 4-甲基甾烷丰度与藻类含量和优质烃源岩层有明显的正相关性, 高丰度的 C_{30} 4-甲基甾烷是藻类勃发的产物^[16-19]。珠一坳陷文昌组烃源岩沉积时期水体营养丰富, 藻类勃发, 因此, 造成珠一坳陷文昌组烃源岩具有极高的 C_{30} 4-甲基甾烷丰度和较重的 $\delta^{13}C$ 值 ($-28\text{‰} \sim -27\text{‰}$)。从白云凹陷已发现的原油及烃源岩的生标指纹信息来看, C_{30} 4-甲基甾烷的丰度明显低于珠一坳陷中深湖相烃源岩及原油, 可能属于无藻类勃发的中深湖相烃源岩, 该套烃源岩的生烃能力可能不及珠一坳陷藻类勃发的中深湖相烃源岩, 油气主要以近源成藏为主。

F1 井文昌组浅湖相烃源岩母质类型属于 II_2 型, 泥岩 HI 为 154 mg/g, TOC 为 1.1%, S_1+S_2 为

3.32 mg/g, 为中等丰度烃源岩(图 3、4)。生物标志化合物特征表现为具有较高丰度的双杜松烷(W、T)化合物及奥利烷, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷呈“V”字型, 贫 C_{30} 4-甲基甾烷, 贫三芳甲藻甾烷, 干酪根 $\delta^{13}C$ 值为 -27.4‰ , 综合分析表明有机质输入为陆源高等植物(表 1、图 2b)。

2.2.2 恩平组浅湖相和海侵湖相泥岩

恩平组共发育浅湖相和海侵湖相 2 类烃源岩。恩平组浅湖相烃源岩以白云西洼 F6 井为代表, 该井钻遇了厚约 1 km 的恩平组, 沉积相带属于三角洲-湖沼相沉积, F6 井中的这类烃源岩的母质类型属于 II_2 — III 型, 泥岩非均质性较强, 有机质丰度变化差异大, TOC 为 0.7%~4.0%, 烃源岩属于差—很好级别。生物标志化合物特征表现为含较高丰度的双杜松烷(W、T)化合物, 奥利烷含量较低, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷呈“V”字型, 贫 C_{30} 4-甲基甾烷, 贫三芳甲藻甾烷。孢粉藻类组成中藻类化石稀少, 被子植物花粉占 93%, 孢粉藻类分析表明有机质来源以陆源高等植物为主。恩平组浅湖相与文昌组浅湖相干酪根 $\delta^{13}C$ 值相近, 约为 -27‰ , 说明在恩平组和文昌组的沉积时的水体环境和有机质来源较为相似, 均来源于陆源高等植物。

恩平组海侵湖相烃源岩分布在白云东洼及白云主洼东部。F5 井钻遇了厚度 >200 m 的恩平组泥岩, 这类烃源岩的母质类型属于 II_2 型, HI 为 154~249 mg/g, TOC 为 1.1%~2.0%, 均值为 1.5%, S_1+S_2 为 3.3~6.5 mg/g, 属于中等—好烃源岩(图 3、4)。生物标志化合物特征表现为具有中等—较高丰度的双杜松烷(W、T)化合物, 高奥利烷, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷呈“V”字型, 贫 C_{30} 4-甲基甾烷, 富含三芳甲藻甾烷, 海侵型烃源岩干酪根 $\delta^{13}C$ 值重于湖相烃源岩, 为 -25‰ (表 1、图 2c)。

同时, 在 F5 井恩平组孢粉藻类组成中发现了大量反映海水和海洋环境的海相沟鞭藻, 在孢藻类组合中占 46%, 而珠江口盆地海相沟鞭藻主要出现于珠海组, 在恩平组的出现说明该井恩平组烃源岩可能遭受海侵。通常具有海相成因的原油和沉积物包含有甲藻甾烷, 而湖相原油和沉积物中甲藻甾烷缺少或丰度极低, 侯读杰等^[20] 提出甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷可作为典型海相沉积环境标志物。白云凹陷恩平组生物相组成中富含海相沟鞭藻, 并同时出现了代表海侵的三芳甲藻甾烷, 孢藻组合和生物标志化合物信息同时证实了恩平组烃源岩受到了海侵影响, 有机质为陆源和海相生烃母质的双

源输入。

2.2.3 珠海组陆棚相、海相三角洲泥岩

珠海组发育陆棚相、海相三角洲 2 类泥岩。海相三角洲相烃源岩的 HI 为 51~337 mg/g, 均值为 191 mg/g, 母质类型属于 II₂-III 型, TOC 为 0.5%~2.7%, 均值为 1.3%, 属于中等—好烃源岩(图 3、4)。生物标志化合物特征表现为具有高姥烷/植烷比值, 高一极高丰度奥利烷(OL)、较高丰度的双杜松烷(W、T), C₂₇、C₂₈、C₂₉ 规则甾烷呈“V”字型, 贫 C₃₀ 4-甲基甾烷(图 2e), 有机质输入以陆源高等植物为主。陆棚相泥岩烃源岩的 HI 为 65~274 mg/g, 母质类型属于 II₂-III 型, TOC 为 0.9%~3.0%, 均值为 1.2%, 属于中等—好烃源岩, 生物标志化合物特征表现为含微量奥利烷(OL)及双杜松烷(W、T), C₂₇、C₂₈、C₂₉ 规则甾烷呈“V”字型, 含三芳甲藻甾烷(图 2f), 有机质为陆源高等植物及水生生物共同贡献。

3 不同相带烃源岩的成藏贡献

白云凹陷油藏主体分布于白云东洼, 以轻质油为主, 白云主洼东部和白云主洼北部发育大规模凝析气藏。白云凹陷原油及凝析油的物性特征基本一致, 原油密度介于 0.76~0.83 g/cm³, 属于轻质油的范围, 含蜡量在 0.1%~6.09%, 远低于珠一凹陷原油的含蜡量, 这可能与原油的生源构成有关, 白云凹陷原油生源构成以陆源高等植物为主, 而珠一凹陷原油的生源构成以水生藻类为主。

根据白云凹陷原油生物标志化合物组合特征及全油碳同位素特征, 将白云凹陷原油分为 A、B 两大类(图 5)。A 类油分布广泛, 位于白云主洼北部隆起带、白云主洼东部和白云东洼, 为白云凹陷

原油的主体部分。A 类原油母源沉积环境为偏氧化环境, 具有较高的 Pr/Ph 比值(3~6); 奥利烷和树脂化合物 T 系列含量高, 反映陆源高等植物的输入量大; 全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -28‰~-27‰, 且与 F1 井文昌组浅湖相泥岩、F6 井恩平组浅湖相泥岩特征具有相似性; 碳同位素和生物标志化合物指纹对比表明白云凹陷的大部分原油来源于文昌和恩平组的浅湖相烃源岩, 从碳同位素的分布推测, 原油不存在恩平组海侵型烃源岩的贡献。

根据陆源有机质来源的差异, A 类原油划为 A1、A2 两个亚类(图 5)。A1 类原油主要分布在白云主洼北部隆起带, 具有极高丰度的树脂化合物 T 和较高含量的陆源被子植物来源的化合物奥利烷, 双杜松烷/C₃₀ 藿烷(T/C₃₀H)比值在 4~10 之间, 奥利烷/C₃₀ 藿烷(OL/C₃₀H)比值 < 0.7; 此类原油与北部恩平组浅湖相烃源岩生标指纹特征具有一定的相似性, 全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -28‰~-27‰, 推测原油来源于白云主洼北部的高陆源有机质输入的浅湖相烃源岩。A2 类油主要分布在白云主洼东部及白云东洼, 含较高丰度的树脂化合物 T 和高—极高含量的陆源被子植物来源的化合物奥利烷, T/C₃₀H 比值为 2~6, OL/C₃₀H 藿烷比值 > 1; 此类原油与白云主洼东部文昌组浅湖相烃源岩生标指纹特征具有一定的相似性, 全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -28‰~-27‰, 推测主要来源于白云主洼东部及白云东洼的高陆源有机质输入的浅湖相烃源岩, 鉴于原油中含高—极高丰度的奥利烷, 推测可能存在珠海组海相三角洲泥岩的贡献。

B 类油主要分布在近洼陷位置的个别井, 母质来源为陆源有机质和藻类混合生源, 甾烷系列则呈现 C₂₇ 规则甾烷的优势特征; 含低的高等植物来源的奥利烷, OL/C₃₀H 比值 < 0.5; 具较高丰度的树脂化合物 T, T/C₃₀H 比值 < 2; 富含指示中深湖相沉积的 C₃₀ 4-甲基甾烷(图 6e); 全油碳同位素为 -28‰~-27‰, 全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值及生物标志化合物指纹特征分析表明此类油为主要来源于高陆源有机质输入的浅湖相烃源岩, 同时存在中深湖相原油的混源。由于目前钻遇文昌组中深湖相烃源岩的井位有限, 富含 C₃₀ 4-甲基甾烷的文昌组中深湖相烃源岩可能在洼陷沉积中心还未钻遇, 因此, B 类油的生物标志化合物特征可能与文昌组中深湖相烃源岩存在差异。

上述原油分类结果表明, 凹陷内原油类型的分布受沉积相带的控制(图 7), 凹陷边缘及隆起带绝大部分原油来源于弱氧化-氧化环境, 富陆源有机质

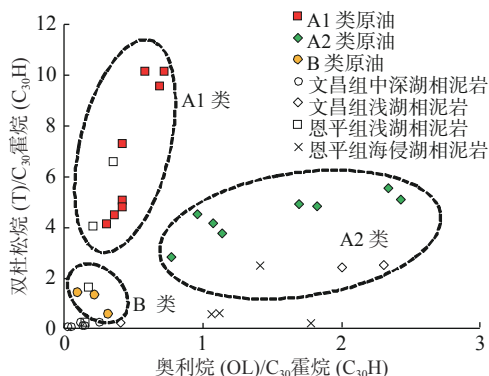


图 5 白云凹陷原油及烃源岩 T/C₃₀H 与 OL/C₃₀H 相关关系

Fig.5 Correlation between T/C₃₀H and OL/C₃₀H of crude oil and source rocks in Baiyun Sag

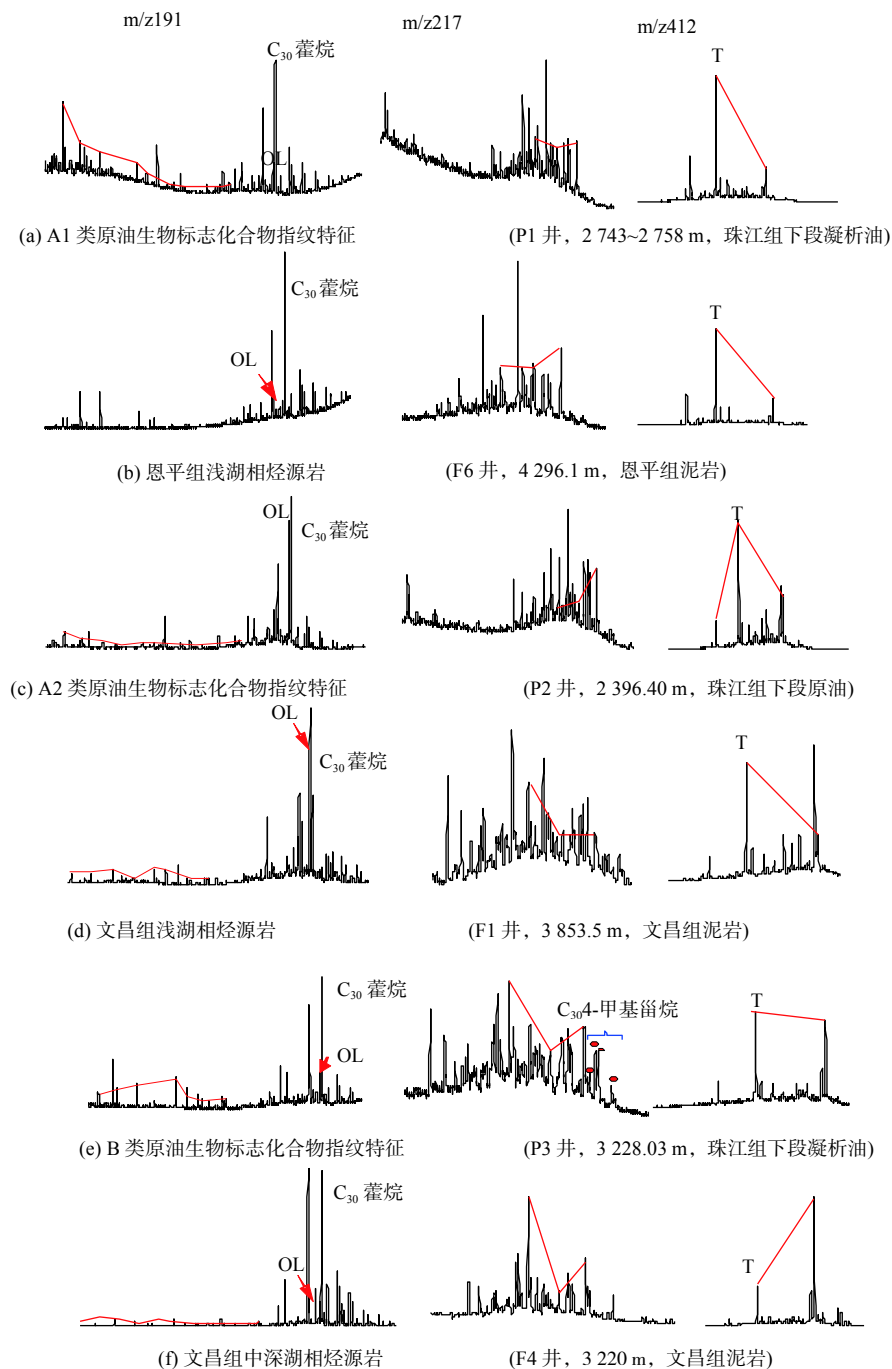


图 6 白云凹陷原油及烃源岩生物标志化合物指纹特征对比

Fig.6 Fingerprint characteristics of biomarkers in Baiyun Sag

的文昌组和恩平组的浅湖相泥岩,而个别近洼陷的井存在文昌组中深湖相烃源岩的贡献,造成这种现象的原因可能是由于文昌组中深湖相烃源岩在主排烃期运移不畅,因此只在盆地的近凹陷中心聚集。

4 结论

(1)文昌组发育中深湖相和浅湖相 2 类烃源岩,其中,中深湖相烃源岩有机质来源为藻类等水

生生物,浅湖相烃源岩为湖藻和陆源的混合生源。恩平组发育浅湖相和海侵湖相 2 类烃源岩,其中,浅湖相烃源岩机质来源以陆源高等植物为主,海侵湖相烃源岩生物相组成中富含海相沟鞭藻,并同时出现了代表海侵的三芳甲基甾烷。珠海组发育陆棚相、海相三角洲 2 类烃源岩,其中,海相三角洲相烃源岩有机质输入以陆源高等植物为主,陆棚相泥岩有机质为陆源高等植物及水生生物共同贡献。

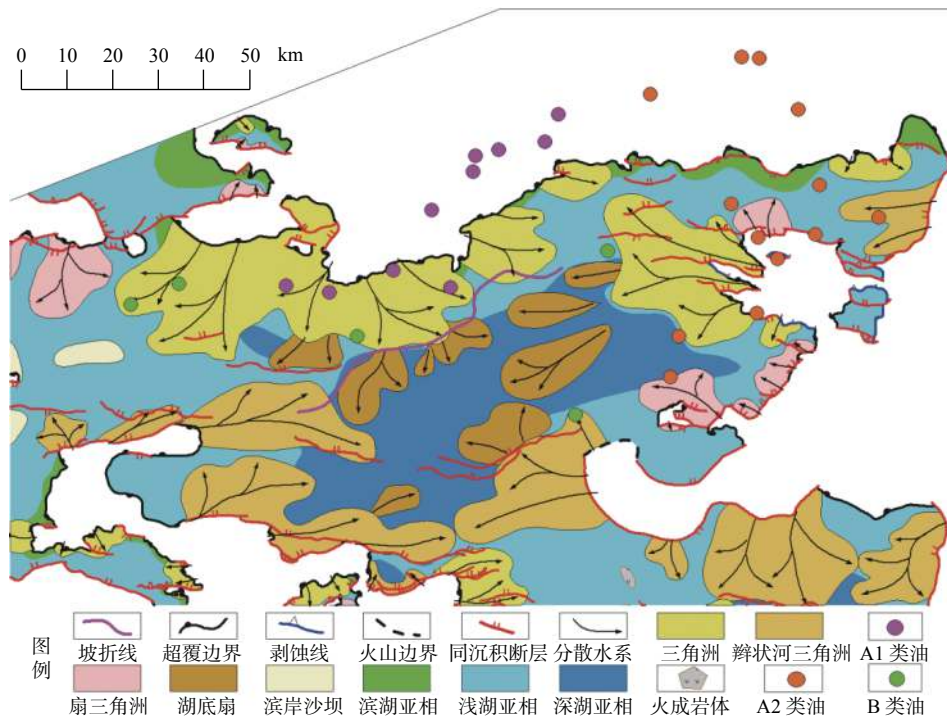


图 7 白云凹陷文昌组沉积相带分布与不同类型油气藏展布相关性

Fig.7 Correlation between distribution of sedimentary facies of Wenchang Formation and different types of oil and gas reservoirs in Baiyun Sag

(2)白云凹陷的大部分原油来源于文昌组和恩平组的浅湖相烃源岩,无恩平组海侵型烃源岩的贡献。原油类型的分布受沉积相带的控制,凹陷边缘及隆起带绝大部分原油来源于富陆源有机质的文昌组和恩平组的浅湖相泥岩,而个别近洼陷井中原油具有文昌组中深湖相烃源岩的贡献。

参考文献:

- [1] 米立军,柳保军,何敏,等.南海北部陆缘白云深水区油气地质特征与勘探方向[J].中国海上油气,2016,28(2): 10-22.
- [2] 庞雄,陈长民,朱明,等.南海北部陆坡白云深水区油气成藏条件探讨[J].中国海上油气,2006,18(3): 145-149.
- [3] 朱俊章,蒋爱珠,施和生,等.珠江口盆地白云凹陷深水区LW3-1气田有效气源区与运聚模式探讨[J].中国海上油气,2012,24(4): 25-31.
- [4] 朱俊章,施和生,庞雄,等.白云深水区东部油气成因来源与成藏特征[J].中国石油勘探,2012,17(4): 21-28.
- [5] 庞雄,任建业,郑金云,等.陆缘地壳强烈拆离薄化作用下的油气地质特征:以南海北部陆缘深水区白云凹陷为例[J].石油勘探与开发,2018,45(1): 27-39.
- [6] 张功成,王琪,苗顺德,等.中国近海海陆过渡相烃源岩二元分布模式:以珠江口盆地白云凹陷为例[J].天然气地球科学,2014,25(9): 1299-1308.
- [7] 李友川,邓运华,张功成,等.南海北部第三系海相烃源岩[J].石油学报,2011,32(2): 219-225.
- [8] 李友川,米立军,张功成,等.南海北部深水区烃源岩形成和分布研究[J].沉积学报,2011,29(5): 970-979.
- [9] 郭玉峰,杜秀琴,傅宁.珠二坳陷白云凹陷海相烃源岩及其成藏贡献[J].天然气地球科学,2014,25(12): 1975-1981.
- [10] 朱俊章,施和生,庞雄,等.白云凹陷天然气生成与大中型气田形成关系[J].天然气地球科学,2012,23(2): 213-221.
- [11] 朱伟林,吴国璋,黎明碧.南海北部陆架北部湾盆地古湖泊与烃源条件[J].海洋与湖沼,2004,35(1): 9-14.
- [12] 钟泽红,刘娟,徐万兴,等.北部湾盆地乌什凹陷流二段孢粉相与三角洲-湖底扇沉积体系[J].科学技术与工程,2017,17(3): 7-14.
- [13] 张晶巧,蔡进功,王学军,等.东营凹陷湖相烃源岩孢粉相特征及其意义[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(8): 3446-3452.
- [14] 马宁,侯读杰,施和生,等.珠江口盆地惠州凹陷烃源岩发育的主控因素分析[J].大庆石油学院学报,2012,36(3): 19-33.
- [15] 朱俊章,施和生,邓宏文,等.珠江口盆地惠州凹陷古今系烃源岩层序地层学和地球化学研究[J].天然气地球科学,2007,18(5): 710-714.
- [16] 李友川.中国近海湖相优质烃源岩形成的主要控制因素[J].中国海上油气,2015,27(3): 1-9.
- [17] 傅宁.论4-甲基C₃₀甾烷丰度与烃源岩质量的关系:基于北部湾盆地勘探实践[J].中国海上油气,2018,30(5): 11-14.
- [18] 傅家漠,徐芬芳,陈德玉,等.茂名油页岩中生物输入的生物标志化合物[J].地球化学,1985,14(2): 99-104.
- [19] 黄第藩,张大江,李晋超.论4-甲基甾烷和孕甾烷的成因[J].石油勘探与开发,1989,16(3): 8-15.
- [20] 侯读杰,王铁冠,张一伟,等.中国东部第三系陆相沉积中的甲藻甾烷:海侵指向的标志物[J].地质论评,1997,43(5): 524-528.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOURCE ROCKS IN DIFFERENT SEDIMENTARY FACIES ZONES AND THEIR CONTRIBUTIONS TO THE HYDROCARBON RESERVOIRS IN THE BAIYUN SAG

MA Ning^{1,2}, LONG Zulie^{1,2}, LIU Baojun^{1,2}, CHEN Cong^{1,2}, LI Qingquan^{1,2}

(1 CNOOC Deepwater Development Ltd., Shenzhen 518067, China; 2 Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen 518067, China)

Abstract: Based on the data of biomarkers, sporopollen and algae assemblages and carbon isotopes of source rocks, combined with the study of sedimentary background, the geochemical characteristics of source rocks in different sedimentary facies zones and their contributions to the formation of hydrocarbon reservoirs in the Baiyun Sag are discussed in this paper. The results show that the abundance of organic matter in the middle and deep lacustrine source rocks of the Wenchang Formation is on a medium level, dominated by the organic matter of type II₁ coming from algae and aquatic organisms, and characterized by the lightest $\delta^{13}\text{C}$ value of kerogen less than -28‰ . However, the organic matters of the shallow lacustrine source rocks of the Enping and Wenchang Formations are from terrestrial higher plants, of which the $\delta^{13}\text{C}$ value of kerogen is about -27‰ , and the abundance of organic matter is on medium to high levels, dominated by type II₂-III of organic matter. The transgressive lacustrine source rocks of the Enping Formation are rich in marine limbic algae and Triaryl dinoflagellate sterane, and the $\delta^{13}\text{C}$ value of kerogen is about -25‰ . The $\delta^{13}\text{C}$ value of the crude oil in the Baiyun Sag is changed within the range of $-28\text{‰} \sim -27\text{‰}$. It suggests that the crude oil of the Baiyun Sag mainly comes from the shallow lake source rocks of Wenchang and Enping Formations and the distribution of crude oil types is controlled by sedimentary facies. The deep lake source rocks of Wenchang Formation are the main hydrocarbon contributor to the wells near the sag, while the transgressive source rocks of Enping Formation make little contribution to the formation of reservoir.

Key words: Baiyun Sag; source rocks; carbon isotope; hydrocarbon generation