

# 琼东南盆地崖北凹陷崖城组沉积相及煤系烃源岩分布

吴玉坤<sup>1,2</sup>, 胡明毅<sup>1,2</sup>, 刘志峰<sup>3</sup>, 张 洋<sup>3</sup>, 印斌浩<sup>3</sup>

(1. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100;

2. 长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100; 3. 中海油研究总院, 北京 100027)

**摘要:**崖北凹陷主力烃源岩是崖城组煤系烃源岩,而煤系的分布受控于沉积相带。为弄清煤系烃源岩分布特征,为油气勘探工作提供参考,通过对区域地质背景、古生物、岩性组合、水动力条件、古地形及与现代沉积类比等综合分析,指出崖北凹陷崖城组主要发育潮坪—泻湖沉积体系。崖城组沉积时期,潮坪之上地势宽广、平坦,并生长着蕨类和红树林等高等植物,有利于煤系的形成和聚集;而凹陷内相对封闭的水动力条件又有利于煤系的保存。因此,潮坪具备了煤系形成、聚集和保存的有利条件,是发育煤系烃源岩的有利沉积相带。崖北凹陷内的潮坪主要发育在南部和东南部缓坡带,其中东南部缓坡带崖城组埋藏深,有机质热演化程度高,推测其已生成油气。

**关键词:**崖北凹陷;崖城组;煤系;烃源岩;琼东南盆地

**中图分类号:** TE122.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2013)03-0582-09

**引用格式:** Wu Yukun, Hu Mingyi, Liu Zhifeng, *et al.* The sedimentary facies and coal measures source rock distribution of Yacheng Formation in Yabei Sag, Qiongdongnan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 582-590. [吴玉坤, 胡明毅, 刘志峰, 等. 琼东南盆地崖北凹陷崖城组沉积相及煤系烃源岩分布[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(3): 582-590.]

## 0 引言

琼东南盆地是我国南海北部一个重要的含油气盆地。20世纪80年代,中国海洋石油总公司曾与美国的阿科石油公司合作,在盆地内的崖南凹陷勘探发现了崖城13-1大气田<sup>[1-2]</sup>,使该盆地引起了石油地质家们的关注。但在此后的30a里,经过反复研究和多轮勘探实践,仅发现了几个含油气构造,勘探成效不甚理想<sup>[3-4]</sup>。勘探失利的原因虽有多个方面,但究其本质,关键在于没有明确烃源岩。

崖北凹陷属于尚未取得勘探突破的风险勘探领域,该类凹陷在中国近海还有很多<sup>[5-6]</sup>。对于该类凹陷的油气勘探,其关键问题就是烃源岩<sup>[7-9]</sup>,只要找到了烃源岩,证实其存在生成油气的物质基础,就必然能够找到油气藏。

本文通过对崖北凹陷崖城组沉积相的研究,分析其沉积相类型,指出有利于形成煤系烃源岩的沉积相带,并预测煤系烃源岩的分布规律,以期能为研究区乃至整个盆地今后的油气勘探起到启发和借鉴作用。

## 1 区域地质背景

琼东南盆地位于我国南海北部,其南、北与永乐隆起、海南隆起相邻,东、西与珠江口盆地和莺歌海盆地相接,盆地内渐新统崖城组煤系烃源岩是其主力烃源岩<sup>[10-12]</sup>。该套烃源岩以生成天然气为主,兼生少量石油。

崖北凹陷位于琼东南盆地北部拗陷带的西段,凹陷面积为3 256 km<sup>2</sup>,整体上为一个北断南超的半地堑(图1)<sup>[13]</sup>。崖北凹陷与中国东部诸多半地堑类

收稿日期: 2013-03-07; 修回日期: 2013-04-28.

基金项目: 国家科技重大专项“近海大中型油气田形成条件及勘探技术”(编号: 2011ZX05023); 国家科技重大专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(编号: 2011ZX05025)联合资助.

作者简介: 吴玉坤(1987-), 女, 吉林白山人, 硕士研究生, 主要从事沉积学方面研究. E-mail: 393616256@qq.com.

通讯作者: 胡明毅(1965-), 男, 湖北荆门人, 教授, 主要从事沉积学方面研究. E-mail: humingyi65@163.com.

似,具有典型“下断上拗”的双层结构。其下构造层包括古近系始新统和渐新统崖城组、陵水组,其中始新统为陆相湖泊沉积,渐新统崖城组为海陆过渡相含煤沉积,陵水组为滨浅海相沉积;上构造层包括新近系及第四系,基本为持续性的海相沉积。

崖北凹陷周缘被凸起所环绕,其北侧为海南隆起,西南侧为崖城凸起,东南侧为陵水低凸起,东侧为松涛凸起,这些凸起对崖北凹陷的构造演化、沉积

相类型均有一定控制作用。

崖北凹陷北部为琼东南盆地 5 号断裂,该断裂是盆地的北部边界断裂,也是崖北凹陷的控凹断裂。5 号断裂在始新世有所活动,在崖城组沉积时期活动最为强烈,控制了凹陷北断南超的构造形态。受该断裂和周缘凸起的共同控制,崖北凹陷北部形成了地势较陡的陡坡带,中部形成了地势相对较深的深洼带,南部和东南部形成了地势平缓的缓坡带。

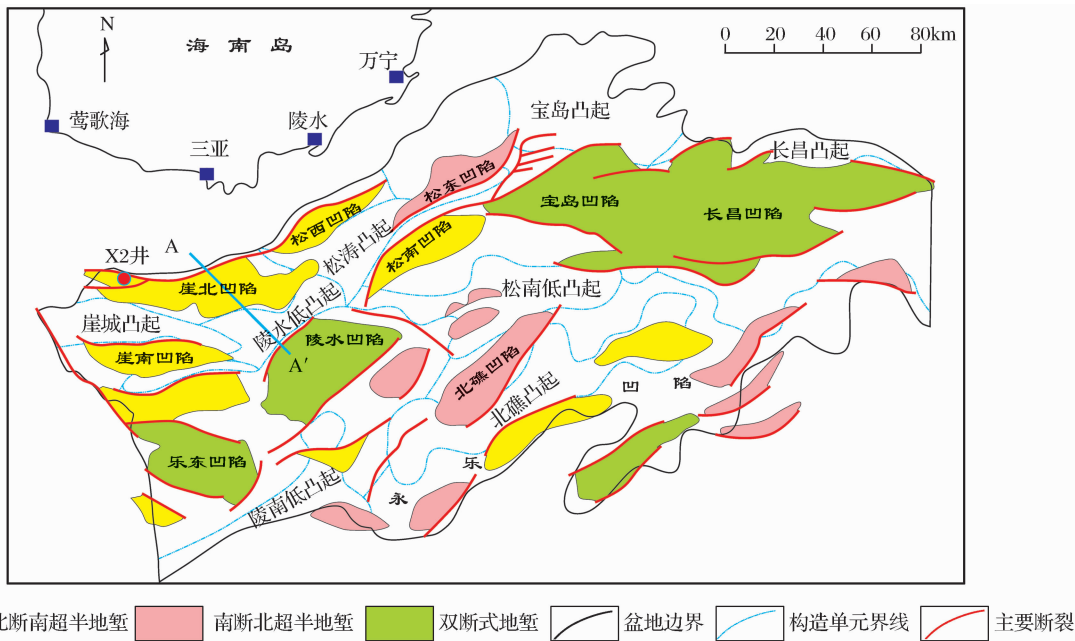


图 1 琼东南盆地凹陷分布特征(据参考文献[13],有修改)

## 2 崖北凹陷崖城组沉积相

根据区域地质背景、古生物、岩性组合、水动力条件、古地形及与现代沉积类比等综合研究,认为崖北凹陷崖城组发育海陆过渡相潮坪—潟湖沉积体系,局部发育扇三角洲。

### 2.1 古生物特征指示海陆过渡环境

地质历史时期,古生物组合或标志性的古生物能够指示某种特定的沉积环境。崖北凹陷目前仅有 1 口探井(X2 井)钻穿崖城组,揭示崖城组厚度为 910m。X2 井崖城组所揭示的古生物具有海相化石与陆相化石共生的特点(图 2)。海相化石中,有孔虫、钙质超微、沟鞭藻等化石同时出现,说明当时已经发生大范围海侵;陆相化石中,蕨类植物光叶藤孢粉大量出现,含量较高,部分样品中检测到的孢粉数量可达 60 枚以上,说明其周围有丰富的陆源植物,可能距岸较近。因此,当时崖北凹陷既有海相特征,又有陆相特征,应为海陆过渡环境。

古生物中,有孔虫能够指示不同的水体深度。一般来说,浮游有孔虫生活在水体较深的环境中,如半深海、深海及局部浅海;底栖有孔虫生活在水体较浅的环境中,如滨海和近岸浅海。X2 井崖城组有孔虫中,浮游有孔虫出现的频率很低,仅在崖二段中部泥岩中相对发育,在其他层段并不发育。即便在崖二段中部发育浮游有孔虫,其丰度也很低,仅为 1~3 枚/100g,与陵水组正常海相中高达 1 000 枚/100g 的有孔虫丰度相差甚远。这表明崖北凹陷在崖城组沉积时期不是开阔的广海,而是近岸的海陆过渡环境。

X2 井崖城组有孔虫中,底栖有孔虫比较发育。在底栖有孔虫中,占优势的是毕克卷转虫。这是一种生活在半咸水潟湖及河口环境中的典型有孔虫。有学者<sup>[14-16]</sup>对该类有孔虫进行过专门研究,证实其在我国胶东半岛、苏北海岸、广西北海的潟湖中比较发育,且通过显微观察见到了大量活体。因此,崖北凹陷崖城组古生物具有海陆过渡的潮坪—潟湖沉积体系的特点。

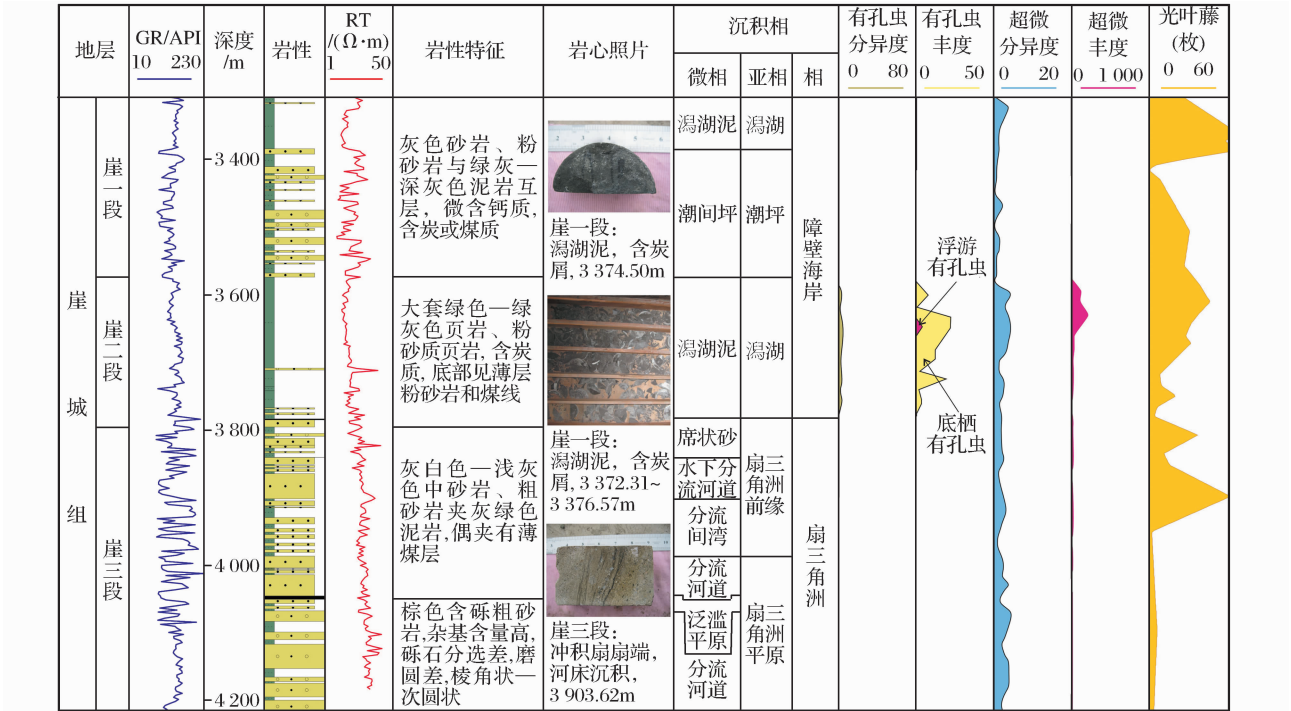


图2 崖北凹陷 X2 井崖城组综合柱状图

2.2 水动力条件满足潮坪—潟湖发育特点

沉积相与水动力条件的关系十分密切。如在河口、(扇)三角洲、开放性海洋等环境中,水动力条件相对较强,常有牵引流、重力流的存在;而在潮坪、潟湖、海湾等环境中,水动力条件相对较弱,水体多数时间较为安静,呈间歇性动荡。岩心和微量元素分析可反映沉积时期的水动力条件强弱。

X2 井在崖一段上部有 10.52m 的取心,为灰黑色泥岩段,水平层理发育,说明沉积时期水体比较稳定和安静。岩心中含有植物茎叶化石。岩心分析化验表明,其中富含近岸蕨类植物孢粉和三瓣弗氏粉、光极弗氏粉等红树林海岸植物孢粉。这说明崖北凹陷在崖城组沉积时期同时具备 2 个条件:安静、近岸。而同时满足这 2 个条件的海陆过渡环境即为潮坪—潟湖沉积体系,其中的泥岩为潟湖泥。

砂岩中微量元素分析亦能反映水动力条件的强弱。Zr(锆)和 Rb(铷)是存在于砂岩中的 2 种稳定金属元素。Zr 富含于重矿物锆石中,Rb 富含于轻矿物云母中。形成于水动力较强环境的砂岩,锆石相对富集,而云母破坏愈严重,富集量愈小,Zr/Rb 值大;形成于水动力条件较弱环境的砂岩,锆石富集程度逊之,云母破坏程度轻,富集量相对大,Zr/Rb 值小。因此,Zr/Rb 值能够反映砂岩沉积时期水动力条件的强弱。

通过对琼东南盆地崖城组多口探井岩心样品的

Zr 和 Rb 元素含量分析,可以看出,在时间上,崖城组与陵水组、三亚组和梅山组沉积时期相比,其水动力条件较弱;在位置上,X2 井所在的崖北凹陷水动力条件较弱(图 3)。因此,崖北凹陷在崖城组沉积时期,沉积环境相对最封闭,水动力条件较弱,具备发育潮坪—潟湖的水动力条件。

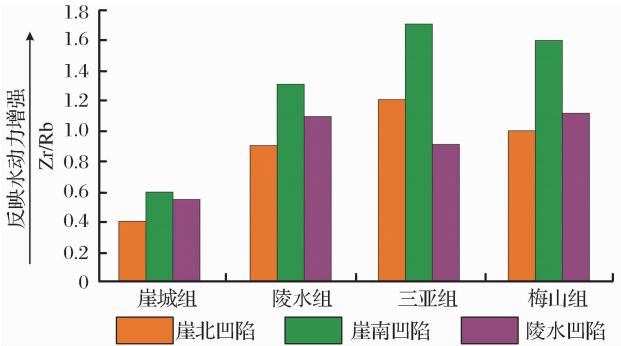


图3 琼东南盆地崖城组 Zr 和 Rb 元素分析  
(据中海石油湛江分公司研究院<sup>①</sup>,有修改)

2.3 具备发育潮坪—潟湖的古地形条件

地质历史时期,沉积相的发育受到古地形的控制。崖城组沉积时期,崖北凹陷北部为海南隆起区,南部为陵水凹陷(图 1)。陵水凹陷已有钻井揭示其崖城组为大套泥岩夹薄层砂岩,为浅海沉积。因此,崖北凹陷介于北部古陆和南部海洋之间。崖北凹陷

<sup>①</sup> 中海石油湛江分公司研究院. 琼东南盆地崖北西区地质评价和井位建议. 内部资料,2011.



周边被凸起所环绕,这些凸起在崖城组沉积时期为高地,对崖北凹陷起到了遮挡作用,使崖北凹陷处在一个半封闭环境中。凹陷南部的陵水低凸起是分隔崖北凹陷和陵水凹陷的障壁岛。在陵水低凸起的东、西两侧,潮道使得崖北凹陷和陵水凹陷处于沟通状态。地震剖面上,潮道的地震反射特征比较清楚,表现为双向上超的水道反射特征(图 4)。

崖北凹陷的构造演化同样为潮坪—潟湖发育创造了古地形条件。崖北凹陷在始新世时期沉积范围

还比较小,仅局限于深洼部位,当时的东南部缓坡带还处于凸起状态,没有接受沉积。崖城组沉积时期,凹陷南部和东南部开始发育断裂。断裂的活动一方面使凹陷南部和东南部发生沉降,开始接受沉积,扩大了凹陷的沉积范围;另一方面使南部和东南部形成了地势平缓的缓坡带,且其古地势比凹陷中部和陡坡带要高(图 5)。这种地势相对高、地形平缓而两侧又发育潮道的地区,正适宜潮坪的生长发育。而与潮坪相邻的,靠近陡坡带的深洼区,则形成了潟湖。

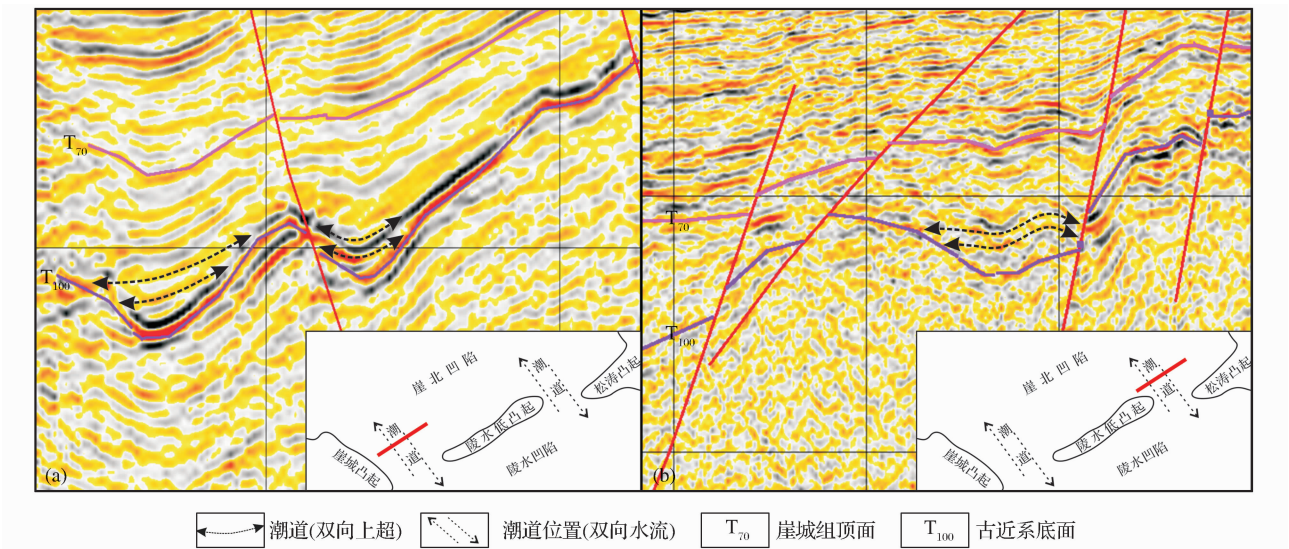


图 4 过西侧(a)和东侧(b)潮道地震剖面

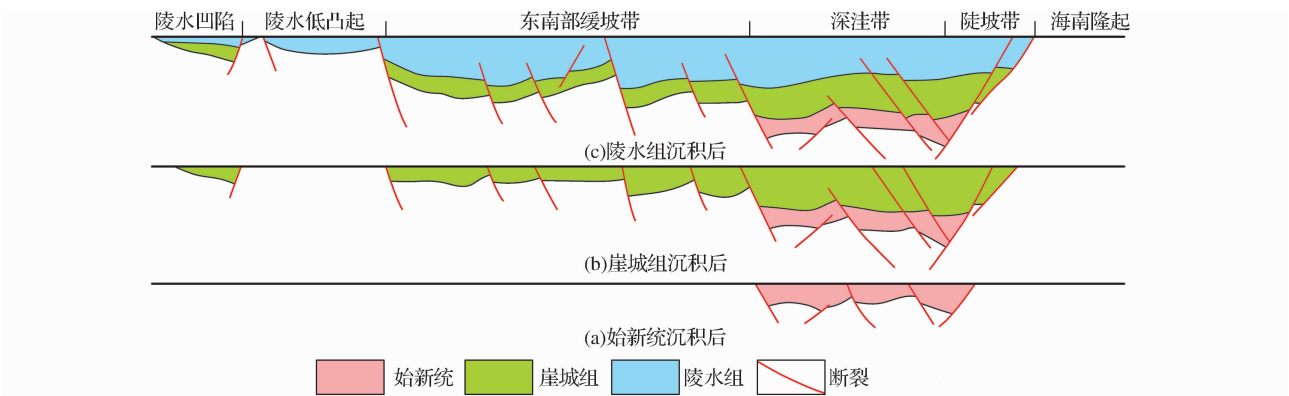


图 5 崖北凹陷古近纪构造演化(剖面位置见图 1)

2.4 地震相特征符合潮坪—潟湖发育规律

地震相分析是在少井、无井地区进行沉积相研究所常用的技术手段。崖北凹陷崖城组共可划分为 4 种地震相,分别为 I 类地震相(中频—弱连续—变振幅—波状地震相)、II 类地震相(低频—连续—平行地震相)、III 类地震相(双向上超充填地震相)和 IV 类地震相(楔形杂乱地震相)(图 6)。I 类地震相发育于凹陷缓坡带或地势平缓的地区,位于潮道的两

侧,代表了潮坪相;II 类地震相发育于凹陷的深洼部位,说明沉积时期水体比较安静,为潟湖相的反射。III 类地震相前已述及,为潮道反射;IV 类地震相位于大型断裂下降盘根部,为典型的扇三角洲反射。

2.5 与现代潮坪—潟湖沉积具有相似性

与琼东南盆地邻近的海南岛,现今发育着众多的红树林潮坪。本文所指红树林潮坪是指发育在热带、亚热带低能海岸的潮间带上部,受间歇性潮水影



响,其上为以生长红树植物为主的潮滩。以著名的东寨港红树林潮坪为例,其现今即为潮坪—潟湖沉积环境<sup>[17]</sup>。东寨港的东北部发育有障壁,障壁的两侧为2个潮道,与崖北凹陷陵水低凸起作为障壁且两侧发育潮道的情形十分接近。东寨港的西侧地形平缓,发育潮坪,潮坪上生长着茂盛的红树林;东侧地形较陡,基本上没有红树林。这也与崖北凹陷崖城组十分相似。因此,无论在潮道的发育位置,还是

红树林潮坪的分布规律上,两者均具有一定的可比性。综上所述,崖北凹陷崖城组从崖三段到崖一段发育潮坪—潟湖沉积体系,不同阶段潮坪—潟湖具有一定继承性(图7)。潮坪主要发育在凹陷的缓坡带,尤其以凹陷东南部低角度缓坡带更为典型,发育的潮坪相面积最大。潟湖发育在大型控凹断裂下降盘水体较深处。另外,靠近凹陷北部5号断裂附近,受北部隆起区物源影响,发育有零星的扇三角洲。

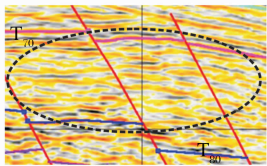
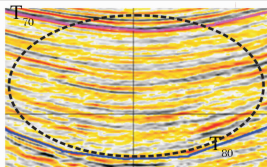
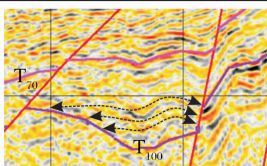
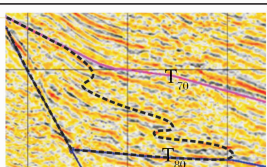
沉积相	典型剖面	特征描述	典型钻井
潮坪		发育于地势平缓地区,呈中等连续(或断续)、中—强变振幅、亚平行或波状反射,反映了水体间歇性动荡的沉积环境(注:图中虚线内为崖城组潮坪相反射)	X2井 (崖一段)
潟湖		发育于凹陷中部或陡坡带,呈中低频、连续、平行反射,其显著特征是低频、连续性,反映了水体相对稳定的沉积环境(注:图中虚线内为潟湖相反射)	X2井 (崖二段)
潮道		发育于潮坪与广海连通处,与潮坪伴生,其底部同相轴下切弯曲,内部呈平行、亚平行或杂乱充填结构,具有水道沉积特征(注:图中箭头示意潮道双向上超)	尚无
扇三角洲		发育于陡坡带,靠近大型断裂,整体呈楔形。楔形内部为亚平行或杂乱反射,反映了近物源、快速堆积的扇三角洲沉积(注:图中虚线内为扇三角洲反射)	X2井 (崖三段)

图6 崖北凹陷崖城组地震相类型划分

T<sub>70</sub>为崖城组顶面;T<sub>80</sub>为始新统顶面;T<sub>100</sub>为古近系底面

### 3 煤系烃源岩分布预测

#### 3.1 煤系烃源岩的聚集和保存条件

煤系烃源岩是指含有煤层或炭质泥岩的烃源岩,其有机质一般来源于陆生高等植物,干酪根类型为Ⅱ<sub>2</sub>型和Ⅲ型。该类烃源岩成熟后以生气为主,兼生少量石油。煤系烃源岩的聚集和保存需要一定的古气候、古地形、水动力等条件。

在地质历史时期,温暖潮湿的古气候条件有利于高等植物的生长发育,这些植物死亡后得以在原地或异地堆积和保存,形成泥炭,进而成煤。琼东南盆地在下渐新统崖城组沉积时期,古气候条件有利于成煤。X2井崖城组岩心分析见到了大量蕨类和红树林海岸植物孢粉,说明当时古气候有利于成煤植物的生长发育,具备成煤的物质基础。

古地形和水动力条件对成煤的影响主要体现在成煤植物的生长发育范围和保存2个方面。一般来说,宽广平缓的古地形和相对封闭水动力条件适宜成煤植物的生长发育和后期保存,有利于煤系的形成;坡度较陡的古地形和相对开放的水动力条件使得成煤植物生长范围较为局限,且难以保存,难以大面积成煤。

崖北凹陷在崖城组沉积时期水动力条件较为封闭,其南部和东南部缓坡带地势宽广平缓,有利于煤的形成和保存,从而形成煤系烃源岩。

#### 3.2 崖北凹陷煤系烃源岩特征

崖北凹陷崖城组发育潮坪—潟湖沉积体系,其中潮坪相是有利于形成煤系烃源岩的沉积相带。凹陷内潮坪相煤系烃源岩尚无钻井取心,其烃源岩特征可通过与我国陆上和近海盆地类比分析来说明。

在我国陆上,鄂尔多斯盆地、四川盆地、渤海湾盆地、云南滇东煤田等地区都有潮坪成煤的证据<sup>[18-24]</sup>,针对这些盆地内的潮坪相煤系烃源岩进行勘探,也找到了一些油气田。这些地区的潮坪相煤

系烃源岩与砂岩或页岩伴生,单层厚度不大,为0.25~5m,但分布范围比较广泛,可以在凹陷内大面积发育。潮坪相煤系烃源岩的有机质丰度(TOC)为0.5%~13%,平均为3%左右,属中等烃源岩。

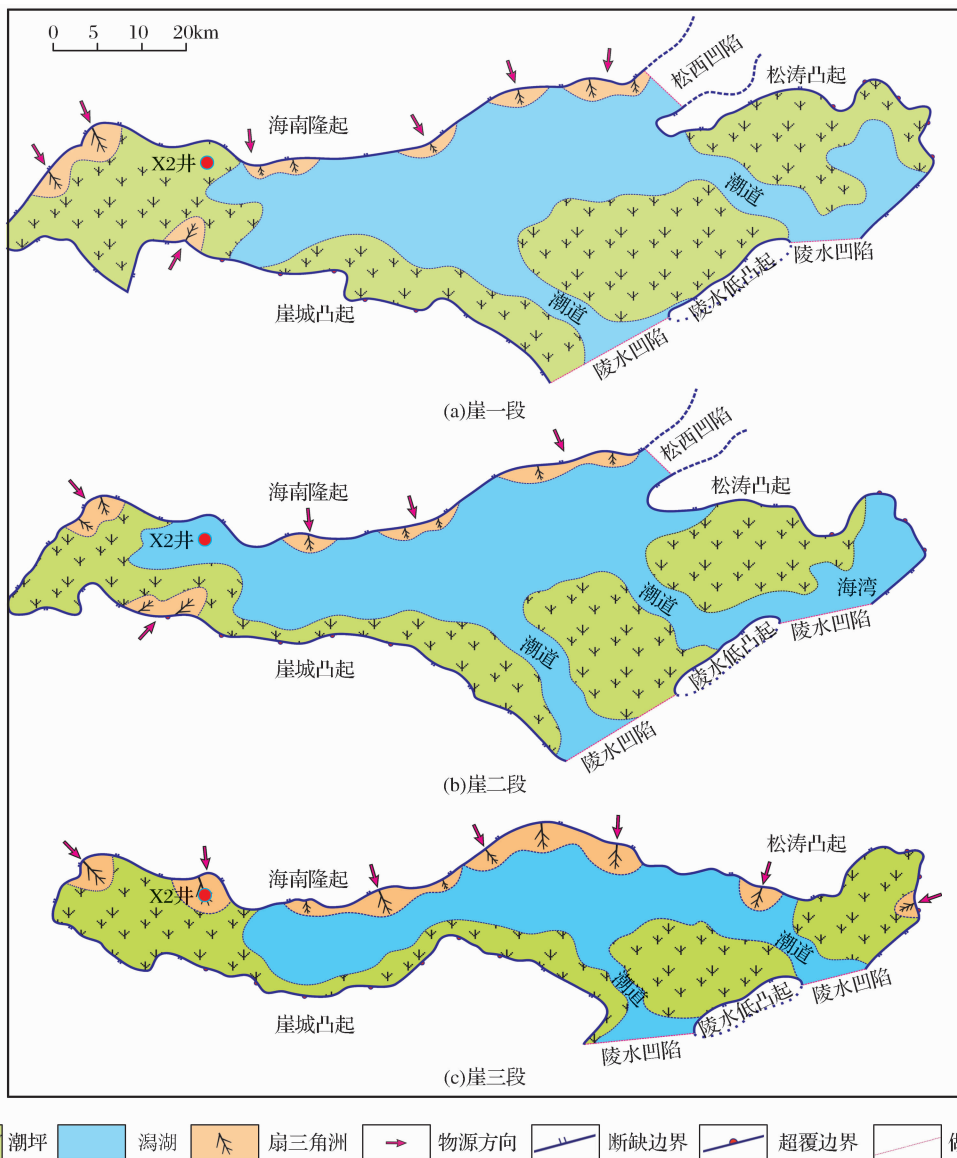


图7 崖北凹陷崖城组沉积相

在我国近海,崖北凹陷的潮坪相煤系烃源岩可以和东海盆地西湖凹陷类比。西湖凹陷的煤系烃源岩主要发育于西湖凹陷西斜坡,同样属于海陆过渡的潮坪相所形成的煤系烃源岩<sup>[25-28]</sup>。且西湖凹陷西斜坡也是一个地势比较平缓的缓坡带,地形与崖北凹陷东南部低角度缓坡带十分相似。目前,在西湖凹陷平湖组有多口井钻遇了该类煤系烃源岩,其有机质丰度(TOC)为0.5%~85%,平均可达15%左右,属好烃源岩。据此,预测崖北凹陷崖城组潮坪相煤系烃源岩应为中等—好烃源岩,其主要发育于凹

陷的南部和东南部缓坡带。

崖北凹陷崖城组烃源岩为煤系烃源岩,干酪根类型为腐殖型(Ⅲ型和Ⅱ<sub>2</sub>型),以生气为主,这已被勘探所证实。煤系烃源岩的生烃特征与湖相泥岩的腐泥型(Ⅰ型和Ⅱ<sub>1</sub>型)干酪根有所不同<sup>[10,12,29]</sup>。根据经典的干酪根生烃演化模式,腐泥型干酪根以生油为主,在达到成熟门限( $R_o$ 值大于0.5%)之后,便开始大量生油;而煤系烃源岩有其特有的热演化特征,且不同地区有所差异,有些地区的煤系即使其 $R_o$ 值达到0.5%甚至1.0%,也可能仅仅生成少量

液态烃(油)和少量气态烃(气)。根据琼东南盆地北部崖城组煤系烃源岩样品的产烃率模拟实验,煤系烃源岩在  $R_o$  值小于 1.2% 时仅生成少量油和少量气,而在  $R_o$  值大于 1.2% 时开始大量并快速生气(图 8),这与我国南海北部深水区和陆上的冀中、吐

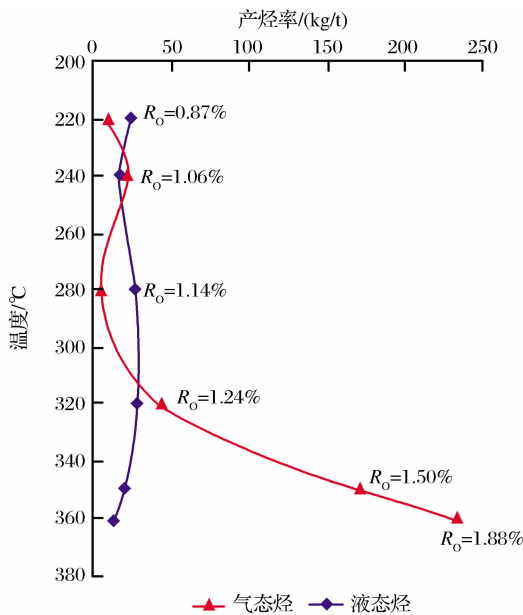


图 8 琼东南盆地北部煤系烃源岩产烃率

哈等盆地煤系烃源岩的生烃模式十分相似<sup>[30-32]</sup>。因此,  $R_o$  值大于 1.2% 的范围是研究区煤系烃源岩大量生烃的区域。

崖北凹陷煤系烃源岩分布受控于潮坪相,潮坪发育的地方是最有可能发育煤系烃源岩的地方。崖北凹陷西端有一定范围的潮坪发育,但其埋藏浅,深度小于 4 000m。热演化分析表明,其  $R_o$  值为 0.6%~0.8%,尚未达到大量生气阶段。凹陷南部和东南缓坡带,因其地势宽广平坦,更适宜煤系烃源岩的聚集和保存。尤其凹陷东南部,该区地层埋藏较深,深度大于 4 100m。热演化分析表明,其  $R_o$  值大于 1.2%,甚至可达 3.6%(图 9),推测其已经大量生气或正在生气。因此,崖北凹陷东南部缓坡带是针对崖城组煤系烃源岩进行油气勘探的有利区域。该区域内目前尚无钻井,值得研究和探索,以揭示一个新的勘探领域。

除崖北凹陷外,盆地内的松西、松东、北礁等凹陷也具有与之类似的半封闭的、海陆过渡的沉积环境,一旦有钻井证实崖北凹陷潮坪—潟湖相煤系烃源岩的可靠性,对整个盆地的勘探工作将具有启发和借鉴的作用。

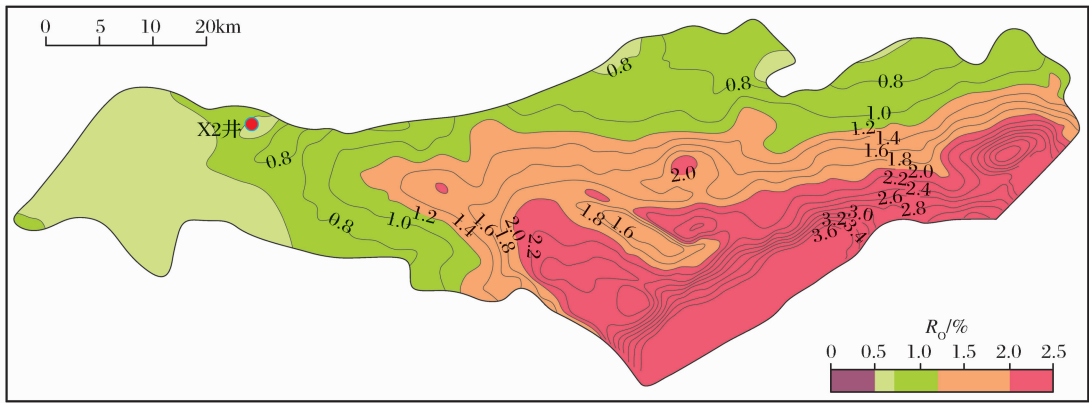


图 9 崖北凹陷崖城组顶面镜质体反射率  $R_o$  等值线

4 结论

- (1) 琼东南盆地崖北凹陷崖城组发育海陆过渡相潮坪—潟湖沉积体系,其中潮坪相是有利于形成煤系烃源岩的沉积相带。
- (2) 崖北凹陷崖城组沉积时期气候温暖湿润,水动力条件相对封闭,凹陷南部和东南部缓坡带地势宽广平坦,有利于煤系的聚集和保存。
- (3) 通过类比分析,预测崖北凹陷崖城组潮坪相煤系烃源岩为中等到好烃源岩,其中凹陷东南部缓

坡带崖城组埋藏深度大,有机质热演化程度高,是进行油气勘探的有利区域。

参考文献(References):

[1] Gong Zaisheng. The Major Oil and Gas Fields of China Off-shore[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. [龚再升. 中国近海大油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.]

[2] Zhu Weilin, Mi Lijun, Zhang Houhe, et al. Atlas of Oil and Gas Basins, China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010. [朱伟林, 米立军, 张厚和, 等. 中国海域含油气盆地地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.]

[3] He Jiaxiong, Xia Bin, Sun Dongshan, et al. Hydrocarbon accu-



- mulation, migration and play targets in the Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(1): 53-58. [何家雄, 夏斌, 孙东山, 等. 琼东南盆地油气成藏组合、运聚规律与勘探方向分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 53-58.]
- [4] 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. [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.]
- [5] Zhu Weilin, Mi Lijun, Gao Yangdong, *et al.* Recent features and future directions of offshore hydrocarbon exploration in China[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2009, 21(1): 1-8. [朱伟林, 米立军, 高阳东, 等. 中国近海近几年油气勘探特点及今后勘探方向[J]. 中国海上油气, 2009, 21(1): 1-8.]
- [6] Zhu Weilin, Mi Lijun, Gao Le, *et al.* New region and play breakthroughs ensure continuous reserves growth: A review on China offshore petroleum exploration in 2009[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(1): 1-6. [朱伟林, 米立军, 高乐, 等. 新区新领域突破保障油气储量持续增长——2009年中国近海勘探工作回顾[J]. 中国海上油气, 2010, 22(1): 1-6.]
- [7] Li Youchuan, Deng Yunhua, Zhang Gongcheng. Zoned distribution of source rocks and hydrocarbon offshore China[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2012, 24(1): 6-12. [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.]
- [8] Ye Jiaren, Wu Jingfu, Shu Yu, *et al.* Characteristics of hydrocarbon accumulation in the hydrocarbon-rich depressions, offshore China[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2012, 31(5): 105-111. [叶加仁, 吴景富, 舒誉, 等. 中国近海富烃凹陷油气成藏特征[J]. 地质科技情报, 2012, 31(5): 105-111.]
- [9] Zhang Gongcheng, Chen Guojun, Zhang Houhe, *et al.* Regular distribution of inside-oil fields and outside-gas fields controlled by source rocks and heat in China offshore basins[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(1): 1-19. [张功成, 陈国俊, 张厚和, 等. “源热共控”中国近海盆地油气田“内油外气”有序分布[J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 1-19.]
- [10] Li Wenhao, Zhang Zhihuan, Li Youchuan, *et al.* Geochemical characteristics and hydrocarbon generation of Paleogene Oligocene source rocks in Qiongdongnan Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(4): 700-708. [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.]
- [11] Zhang Gongcheng, Li Zengxue, He Yuping, *et al.* Coal geochemistry of Qiongdongnan Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(5): 693-699. [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.]
- [12] Dai Jinxing, Hu Guoyi, Ni Yunyan. Distribution characteristics of natural gas in eastern China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(4): 471-487. [戴金星, 胡国艺, 倪云燕. 中国东部天然气分布特征[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(4): 471-487.]
- [13] Neng Yuan. Tectonic Evolution of the Cenozoic Basin in Deep Water of North Margin, South China Sea[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2010. [能源. 南海北部深水区新生代盆地构造演化[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2010.]
- [14] Chen Yining, Zhu Xiaodong. Spatial distribution patterns of foraminifera *ammonia beccarii* in the micro-environment of Jiangsu coastal zone[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2004, 21(1): 58-63. [陈一宁, 朱晓东. 苏北海岸带有孔虫 *Ammonia beccarii* 微环境分布的初步研究[J]. 微体古生物学报, 2004, 21(1): 58-63.]
- [15] Wu Naiqin. Characteristics of low-marineness foraminiferal faunas in modern and Quaternary deposits and their geological implication[J]. *Quaternary Science*, 1993, (3): 267-280. [吴乃琴. 弱海相性有孔虫群的特征及其代表的沉积环境[J]. 第四纪研究, 1993, (3): 267-280.]
- [16] Li Guangzhao, Liang Wen, Nong Huaqiong. Diatom, foraminifera assemblages and evolution of sedimentary facies in the Holocene strata of Waisha lagoon, Beihai[J]. *Guangxi Sciences*, 1999, 6(4): 311-316. [黎广钊, 梁文, 农华琼. 北海外沙潟湖全新世硅藻、有孔虫组合与沉积相演化[J]. 广西科学, 1999, 6(4): 311-316.]
- [17] Liu Huanjie, Sang Shuxun, Shi Jian, *et al.* Comparative Sedimentology Research on Coal-forming Environments[M]. Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 1997. [刘焕杰, 桑树勋, 施健, 等. 成煤环境的比较沉积学研究[M]. 江苏: 中国矿业大学出版社, 1997.]
- [18] Hao Shumin, Li Liang, You Huanzeng. Permo-Carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi Gasfield and its near-source box-type gas accumulation-forming model[J]. *Geology in China*, 2007, 34(4): 606-611. [郝蜀民, 李良, 尤欢增. 大牛地气田石炭系—二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 606-611.]
- [19] Si Shengli. The deposition characters of the tidal flats in Late Permian coal-accumulating area in eastern Yunnan and western Guizhou, China[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2010, 38(1): 18-21. [司胜利. 滇东黔西晚二叠世聚煤区潮坪沉积特征[J]. 煤田地质与勘探, 2010, 38(1): 18-21.]
- [20] Huang Shiqiang. Characteristics of tidal flat deposits of the late period of Early Permian and its effects on coal-accumulation in Sanming, Fujian Province[J]. *Geology of Fujian*, 1988, 7(1): 1-10. [黄世强. 福建省三明地区早二叠世晚期潮坪沉积特征及其对聚煤作用的影响[J]. 福建地质, 1988, 7(1): 1-10.]
- [21] Chen Quanhong, Li Wenhao, Guo Yanqin, *et al.* The analysis of coal accumulating environment and coal forming models in Early Permian, Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(1): 70-76. [陈全红, 李文厚, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地早二叠世聚煤环境与成煤模式分析[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 70-76.]
- [22] Tian Yu, Zhang Xingyang, He Youbin, *et al.* Lithofacies palaeogeography of the Late Permian Wujiaping Age of Sichuan Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(2): 164-176.

- [田雨, 张兴阳, 何幼斌, 等. 四川盆地晚二叠世吴家坪期岩相古地理[J]. 古地理学报, 2010, 12(2): 164-176.]
- [23] Liu Shugen, Zeng Xiangliang, Huang Wenming, *et al.* Basic characteristics of shale and continuous-discontinuous transition gas reservoirs in Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2009, 36(6): 578-592. [刘树根, 曾祥亮, 黄文明, 等. 四川盆地页岩气藏和连续型—非连续型气藏基本特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2009, 36(6): 578-592.]
- [24] Wang Guoshou, Miu Jiujun, Lu Jianlin, *et al.* Generation environment of coal measure source rock in the east of Jiyang and Linqing, the Bohaiwan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(4): 325-329. [王果寿, 缪九军, 陆建林, 等. 渤海湾盆地济阳—临清东部煤系烃源岩形成环境[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 325-329.]
- [25] Chen Linlin. Depositional environment evolution of Pinghu Formation in Xihu Depression, the East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18(4): 69-78. [陈琳琳. 东海西湖凹陷平湖组沉积环境演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(4): 69-78.]
- [26] Chen Linlin. Oil/gas geochemical character in the Xihu Trough of East China Sea[J]. Offshore Oil, 2000, (2): 15-21. [陈琳琳. 东海西湖凹陷平湖组海进潮道砂体成因分析[J]. 海洋石油, 2000, (2): 15-21.]
- [27] Wang Guoshou, Zhou Zhuoming, Xiao Chaohui, *et al.* Sedimentary characteristics of Eocene Pinghu Formation and Huaguang Formation in Chunxiao zone of Xihu Lake Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 257-265. [王果寿, 周卓明, 肖朝辉, 等. 西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 257-265.]
- [28] Liu Shuhui, Wang Baoyan, Liu Chengxin. The recognition about sedimentary facies in Pinghu Formation of Pinghu region[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3): 1-3. [刘书会, 王宝言, 刘成鑫. 西湖凹陷平湖地区平湖组沉积相的再认识[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 1-3.]
- [29] 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. [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.]
- [30] Li Youchuan, Zhang Gongcheng, Fu Ning. A study on hydrocarbon generation characteristics in the deepwater region, the northern South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6): 375-381. [李友川, 张功成, 傅宁. 南海北部深水区油气生成特性研究[J]. 中国海上油气, 2010, 22(6): 375-381.]
- [31] Chen Yicai, Shen Zhongmin, Luo Xiaoping. Organic Geochemistry of Oil and Gas[M]. Beijing: Science Press, 2007. [陈义才, 沈忠民, 罗小平. 石油与天然气有机地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2007.]
- [32] Qin Jianzhong. Source Rock of China[M]. Beijing: Science Press, 2005. [秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社, 2005.]

## The Sedimentary Facies and Coal Measures Source Rock Distribution of Yacheng Formation in Yabei Sag, Qiongdongnan Basin

WU Yu-kun<sup>1,2</sup>, HU Ming-yi<sup>1,2</sup>, LIU Zhi-feng<sup>3</sup>, ZHANG Yang<sup>3</sup>, YIN Bin-hao<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 2. Institute of Earth Science, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 3. Research Institute of China National Offshore Oil Corp., Beijing 100027, China)

**Abstract:** The primary source rock of Yabei Sag was coal measures of Yacheng Formation in Oligocene and its distribution was controlled by sedimentary facies. According to the analysis of regional geological setting, paleontology, lithology assemblage, tectonic feature, paleo-topography etc, the sedimentary facies of Yacheng Formation are mainly tidal flat, lagoon and partly fan-delta. The tidal flat grows on the place where the slope is gentle and the topography is broad. Sporopollen analysis showed that there were a lot of mangrove trees in Yabei Sag during the period, which could form coal after death. The relative closed hydrodynamic condition in the sag is favorable for the formation of coal measures. Therefore, tidal flat bears favorable conditions for the formation, accumulation and preservation of coal measures and is a favorable sedimentary facies belt for the development of coal measures source rocks. Tidal flat in the Yabei Sag is mainly developed in the south and southeast gentle slope. Yacheng Formation in the southeast gentle slope has greater burial depth and higher thermal maturation of organic matter, indicating the formation of oil and gas.

**Key words:** Yabei Sag; Yacheng Formation; Coal measures; Source rock; Qiongdongnan Basin