

南海北部陆缘合浦盆地低熟油气/生物气 成藏条件及勘探前景

张景茹^{1,2}, 何家雄², 陆军文³, 龚晓峰^{1,2}, 张伟^{1,2}

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640;
3. 浙江大学地球科学系, 浙江 杭州 310027)

摘要:重点分析研究合浦盆地低熟烃源岩有机质丰度、生源母质类型和成熟度等生烃条件, 以及生储盖组合、圈闭类型和油气运移和保存等油气成藏地质条件, 认为合浦盆地具有形成低熟油气/生物气的有利地质条件, 是华南陆块西南缘上具有一定油气勘探远景的沉积盆地。合浦盆地未来油气勘探方向及重点勘探领域, 应围绕低熟烃源供给区, 主要勘探寻找低熟油气及浅层生物气资源, 争取获得油气勘探的突破。

关键词:合浦盆地; 低熟油气/生物气; 生烃条件; 成藏地质条件; 油气勘探方向

中图分类号: TE122.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1926(2014)02-0212-09

引用格式: Zhang Jingru, He Jiexiong, Lu Junwen, *et al.* Reservoir geological conditions and exploration prospects of low mature oil and gas/bio-gas in Hepu Basin, Guangxi[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(2): 212-220. [张景茹, 何家雄, 陆军文, 等. 南海北部陆缘合浦盆地低熟油气/生物气成藏条件及勘探前景[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(2): 212-220.]

0 引言

低熟油气/生物气作为一种新型油气资源, 20 世纪 90 年代以来, 国内外学者均相继报道了在加拿大、印度尼西亚、以色列等国家及地区和中国古近纪—新近纪含油气盆地中发现较丰富的低熟油气资源, 且在其低熟油气成因理论研究及勘探实践上亦取得了长足的进展。低熟油气在中国东部古近纪—新近纪盆地中是一种颇具勘探潜力的油气资源。目前, 中国的低熟油气/生物气探明地质储量已达亿吨级水平。在当前国际能源非常紧张的形势下, 深入开展低熟油气/生物气勘探研究无疑具有重要意义, 特别是对那些地温场低、烃源岩机质演化程度偏低的盆地。

合浦盆地是中国南方有代表性的陆相沉积盆地, 对其油气远景评价, 特别是寻找未熟—低熟油的

可能性, 对南方油气勘探有较大意义。通过对几口新探井的资料分析和近年来的石油地质综合研究, 我们初步获得了一些新的认识, 揭示了其良好的油气勘探前景。

1 区域地质概况

南海北部陆缘合浦盆地位于广西南部北海市合浦县及浦北县一带, 其分布范围在东经 $108^{\circ}40' \sim 109^{\circ}50'$, 北纬 $21^{\circ}20' \sim 22^{\circ}00'$ 之间。盆地沿南流江流域呈 NE—SW 向展布, 东窄西宽呈喇叭状, 主体分布在陆地上, 西南段则延伸到北部湾海域。合浦盆地属中小型盆地, 总面积约为 $1\ 200\text{km}^2$, 其中, 陆上部分面积为 $1\ 140\text{km}^2$, 海域部分面积约 60km^2 , 其是一个在华南褶皱系基础上发展起来、受扭动断裂控制的中新生代断拗型复合盆地。合浦盆地北面 and 东面为六万大山隆起, 南面为青山岭隆起, 东北收

收稿日期: 2013-03-30; 修回日期: 2013-05-27.

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41176052); 国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2009CB219501)联合资助。

作者简介: 张景茹(1987-), 女, 山西原平人, 博士研究生, 主要从事石油地质综合研究。E-mail: zhangjrgucas@163.com.

通讯作者: 何家雄(1956-), 男, 湖北天门人, 研究员, 博士, 长期从事石油地质综合研究。E-mail: hejx@gig.ac.cn.

敛,其西南敞开而进入北部湾海域(图 1)^①。

合浦盆地区域构造上,处于华南板块(亦称华南褶皱带)西南部,六万大山隆起区合浦—博白—岑溪断裂带,主要受 NE 向和 NW 向 2 组断裂的控制,其是在晚燕山—喜马拉雅构造活动期,由于合浦—博白—岑溪老断裂的不断拉分断陷作用下,发育形成的以古近纪—新近纪沉积为主体的陆相断陷盆地。

根据前人的研究,合浦盆地的生成演化过程具有以下几个重要特点:①前新生代为断拗阶段;②新生代古近纪早期为断陷演化阶段;③新近纪晚期拗陷或断拗转换或萎缩阶段。换言之,合浦盆地古近

纪—新近纪主要经历了上述 3 个构造演化过程而最终形成目前的由盆地西部的西场凹陷、中部的上洋凸起及东部的常乐凹陷 3 个次一级构造单元所构成的盆地基本构造格局(图 1)。其中:盆地西部的西场凹陷,长约为 32km,宽约为 17km,面积约为 540km²,呈椭圆状展布,基底最大埋深,即上白垩统底为 4 100m,古近系底为 3 400m。盆地东部的常乐凹陷,长约为 40km,宽约为 12~15km,面积约为 600km²,呈长条状展布,古近系沉积基底最大埋深 4 600m。盆地中部的上洋凸起,面积约 60km²,沉积基底浅,古近系—新近系地层沉积非常薄。

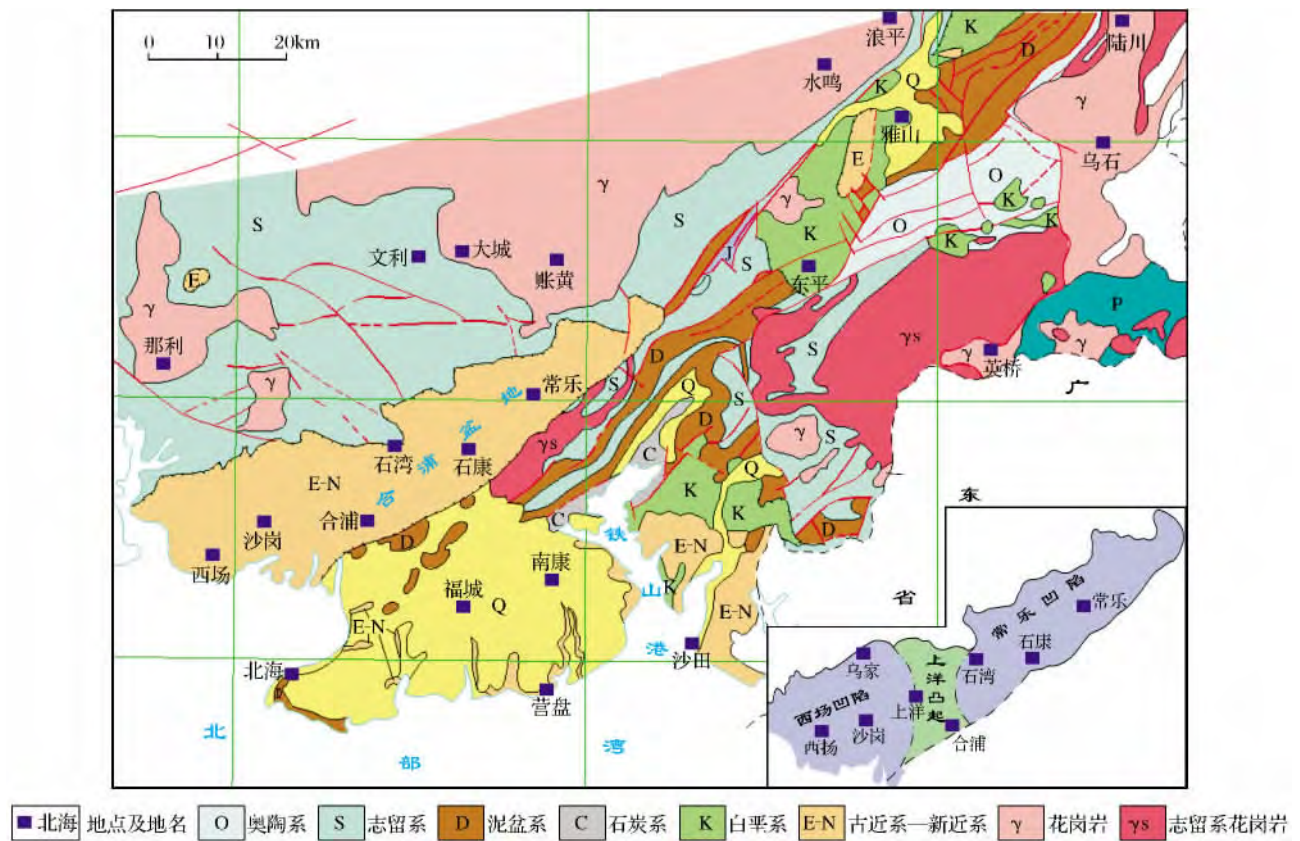


图 1 广西合浦盆地及邻区区域地质及构造展布特征(据周大钰等^①,2010)

Fig. 1 The regional geological and tectonic distribution characteristics of Hepu Basin and adjacent areas in Guangxi Province

合浦盆地晚白垩世至渐新世沉积物构成了盆地的主体,沉积地层系统从老到新主要由前白垩系基底、上白垩统乌家组(K_{2w})、古近系古新统上洋组(E_{1s})、古近系始新统酒席坑组(E_{2j})、古近系渐新统沙岗组(E_{3s})、新近系中新统白沙江组(N_{1b})及第四系合浦组(Qh)所构成^[1-4]。目前勘探初步证实,该区始新统酒席坑组(E_{2j})湖相沉积泥质岩系为主要烃源岩,其是在潮湿温暖气候下沉积充填的一套近海平原沼泽相—浅湖相和中深湖相富含有机质的暗

色泥页岩(图 2)^①。

合浦盆地自 20 世纪 50 年代末开始石油地质调查及地球物理勘探以来,迄今尚未获得商业性油气流,未能取得油气勘探突破。虽然如此,但通过多年的油气勘探及油气地质研究工作,仍然获取了大量区域地质及油气地质地球物理资料和重要的油气地质信息,同时亦初步证实了该区具备了低熟油气

^① 周大钰. 合浦盆地常乐凹陷北部中台阶乐 2X 井风险勘探井位论证. 云南地物软件技术服务有限公司. 内部报告,2010.

及生物气形成的基本地质条件^[1-5],目前我国特别是南方经济发达区油气资源供不应求,如能在合浦盆地找到一定规模的低熟油气/生物气田,无疑对广西乃至整个南方地区经济的进一步发展腾飞具有重要意义,并对加快南方中小型盆地的油气勘探进程具有很大的推动作用。

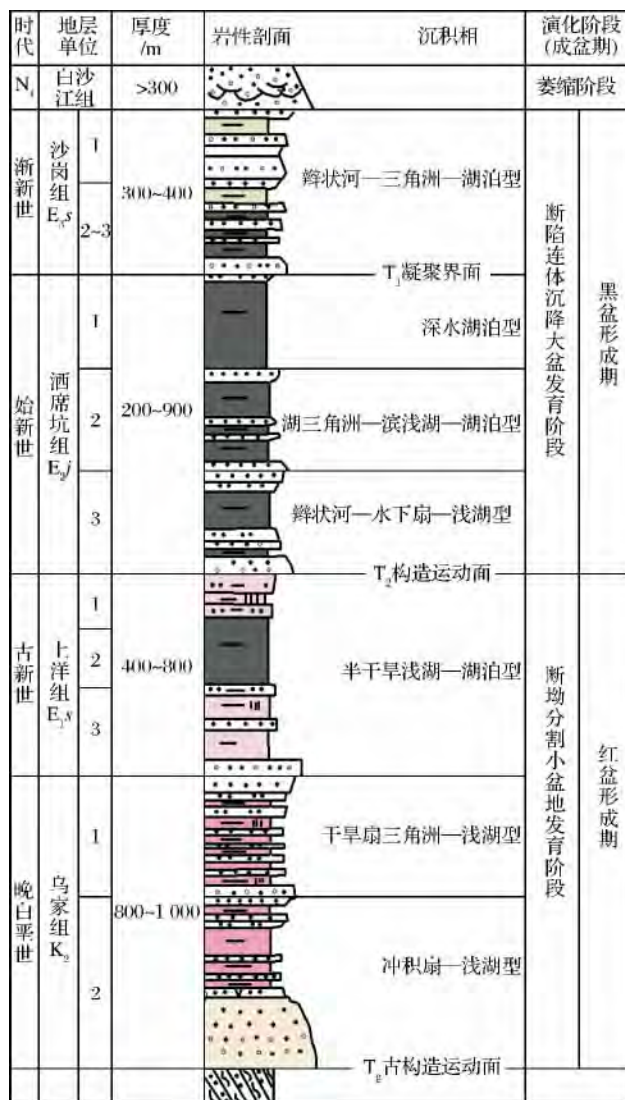


图2 合浦盆地地层层序及岩性组合特征^①

Fig. 2 Characteristics of stratigraphic and lithologic in Hepu Basin^①

2 低熟油气/生物气成藏条件

低熟油气/生物气的生成、富集受诸多因素控制,首先要有适合生成低熟油气/生物气的烃源岩条件;其次生储盖组合条件、圈闭以及保存条件也制约着低熟油气/生物气的成藏。以下从烃源条件、储盖组合特征、油气运移、圈闭和保存条件等方面进行分析,探讨合浦盆地低熟油气/生物气成藏的因素。

2.1 烃源条件

根据区域油气地质条件及合浦盆地西场凹陷和常乐凹陷 10 口探井钻遇古近系烃源岩地球化学分析评价,可以看出,合浦盆地古近系始新统酒席坑组(E_{2j})和古新统上洋组二段(E_{1s2})为 2 套低熟生油岩系,具有形成低熟油气/生物气的资源潜力。

2.1.1 有机质丰度

以下根据合浦盆地东西 2 个凹陷主要探井钻遇始新统及古新统暗色泥页岩的有机地球化学分析结果(表 1),结合低熟源岩的有机质丰度评价标准^[6],对其有机质丰度进行分析评价与阐述。

从表 1 可以看出,合浦盆地西部的西场凹陷古近系暗色泥页岩有机质丰度较高^[7],根据探井钻遇暗色泥页岩地球化学分析表明,酒席坑组(E_{2j})在西场凹陷厚约为 200~400m,其中暗色泥岩厚度为 150~300m。有机碳平均含量为 2.85%~4.31%,氯仿沥青“A”平均含量为 0.143 1%~0.442 3%,总烃含量(HC)为(107.84~1842)×10⁻⁶,生烃潜量(S₁+S₂)为 9.23~57.20mg_烃/g_{岩石},达到好的生油岩标准。

合浦盆地东部常乐凹陷钻遇的始新统酒席坑组暗色泥页岩有机质丰度亦较高。根据近期钻探的乐 2X 井及以前钻探的几口探井地球化学分析结果,始新统酒席坑组暗色泥岩 TOC 平均含量为 0.29%~2.25%,大多数样品 TOC 含量多在 1.7%以上;氯仿沥青“A”为 0.06%~0.123 9%,平均为 0.113 8%;总烃 HC 含量平均为 392.4×10⁻⁶;生烃潜量(S₁+S₂)为 0.35~18.64mg_烃/g_{岩石},平均为 10.60mg_烃/g_{岩石}。其中,酒席坑组一段(E_{2j1})暗色泥岩的 TOC 含量为 1.7%、氯仿沥青“A”为 0.11%和生油潜量(S₁+S₂)为 5.44mg_烃/g_{岩石}等指标较高,均明显优于酒席坑组二段(E_{2j2})和酒席坑组三段(E_{2j3}),达到了好烃源岩的标准。

2.1.2 有机生源母质类型

有机质类型代表生油母质的质量,是陆相盆地生油条件评价中一个十分重要的参数,它们决定了生油潜能的高低。根据干酪根元素分析(图 3)盆地西部西场凹陷始新统酒席坑组暗色泥页岩有机质干酪根 H/C 原子比为 1.14~1.68,O/C 原子比为 0.11~0.19,在干酪根类型范氏图上多处处在偏腐泥混合型或腐泥型区域(图 3),即以 II₁ 型干酪根为主,其中 II₁—I 型干酪根含量大于 50%以上。另外,亚 1 井、路 1 井

① 周大钰. 合浦盆地常乐凹陷北部中台阶乐 2X 井风险勘探井位论证. 云南地物软件技术服务有限公司. 内部报告, 2010.

和乐 2X 井暗色泥岩热解分析所获有机生源母质类型的干酪根镜检分析结果基本相吻合,均证实西场凹陷始新统酒席坑组暗色泥岩干酪根类型主要以 II₁ 型为主,少量属 I 型。此外,该暗色泥岩的烃类有机质转化率指标“A”/TOC 为 4.6%~13.1% (表 1),这对于未熟、低熟生油岩而言属偏高的数值,亦暗示其生源母质类型具有偏腐泥类型的特点^[8]。

常乐凹陷始新统酒席坑组暗色泥岩有机质干酪

根元素分析样品来自乐参 1 井, H/C 原子比为 1.088~1.35, O/C 原子比为 0.108~0.188, 在范氏图上主要分布在 II₁—II₂ 型之间的区域,但以 II₂ 型为主,其次是 II₁ 型,少量为 III 型(图 3),表明其生源母质类型具有偏腐殖混合型的特点。

2.1.3 有机质成熟度

合浦盆地总体上是一个低热盆地,尤其在西场凹陷,沉积物薄埋深浅仅 2500m 左右即为基底,始

表 1 合浦盆地西场凹陷与常乐凹陷古近系潜在烃源岩有机质丰度分布特征及综合评价
Table 1 The abundance and Evaluation of Paleogene potential source rocks in Hepu Basin

凹陷	井号	层位 层段	深度 /m	分布厚度 /m	TOC /%	氯仿沥青“A” /%	HC /($\times 10^{-6}$)	(“A”/TOC) /%	(S ₁ +S ₂) /(mg _烃 /g _{岩石})	综合 评价
西场 凹陷	西 1 井		1 204.5~1 715.0	282.00	4.31/34	0.442 3/28	107.84/18	13.1/28	38.97/18	好
	西参 2 井		914.0~1 300.5	251.50	3.16/49	0.143 1/44	369.66/8	4.6/44	14.57/8	好
	亚 1 井		7 920~1 098.0	217.50	3.74/14	0.217 8/14	493.20/5	5.4/14	18.63/5	好
	路 1 井		738.0~1 067.5	176.50	4.24/15	0.251 2/15	1 842.00/3	5.2/15	57.20/3	好
	南 1 井	E _{2j}	2 33.0~451.5	152.00	2.85/2	0.201 0/2	262.78/2	7.1/2	9.23/2	好
常乐 凹陷	乐参 1 井		1 969.0~2 296.0	119.00	2.10/29	0.103 6/12	437.00/12	4.8/12	18.64/12	好
	沙 1 井		582.0~1 279.5	116.50	2.25/9	0.067 1/7	224.50/2	3.5/7	11.73/2	好
	龙 1 井		532.6~751.0	10.05	1.08/2	0.067 8/2		6.3/2		较好
	石 1 井		284.0~665.6	49.50	2.18/7	0.123 9/7		4.9/7		好
	乐 2X 井	E _{2j1} E _{2j2} E _{2j3}	1 977.5~2 130.0 2 130.2~2 250.1 2 471.0~2 560.0	88.50 25.50 0.29/5	1.70/13 0.42/12 0.064/5	0.11/13 0.06/12 384/5	770/13 360/12	6.5/13 14.3/12 22.1/5	5.44 0.50 0.35	好 较好—差 较好—差

注:4.31/34=平均值/样品数

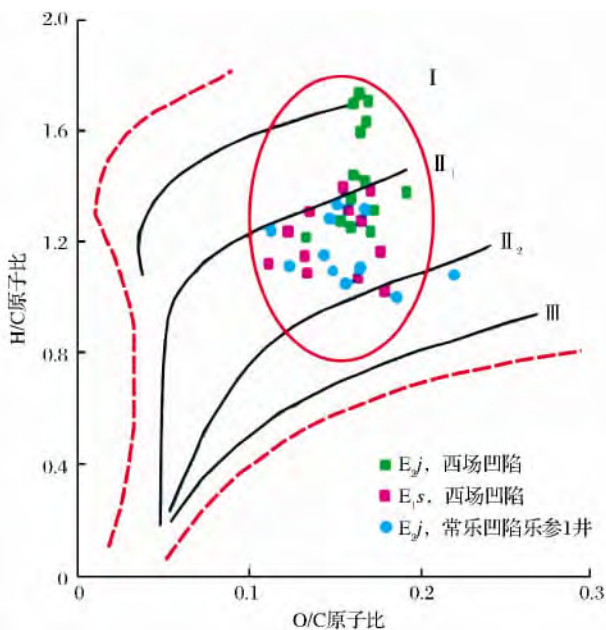


图 3 合浦盆地古近系暗色泥岩干酪根类型范氏图
(据文献[8],修改)

Fig. 3 The D. W. Van Krevelen Figure of Paleogene mudstone kerogen type in Hepu Basin (according to reference[8], modified)

新统酒席坑组(E_{2j})最大埋深不超过 2 000m,暗色泥岩有机质镜质体反射率(R_o)均低于 0.6%以下,多处 在 0.3%~0.6%之间;暗色泥岩最大热解峰温 T_{max} 大大低于 435℃;泥岩可溶有机质饱和和奇偶优势明显(OEP 值为 1.4~4.7)^[6]。而且,始新统酒席坑组暗色泥岩甾烷组成中以生物构型的 ββ α 型和 $\alpha\alpha\beta$ 型为主,尚未见到地质构型的 $\alpha\beta\beta$ 甾烷,萜烷分布中还见到丰富的表征低熟和生物构型的甾烯和藿烯,且 C₂₉ 甾烷 20S/(20S+20R) 成熟度参数偏低,仅为 0.11~0.38,上述这些成熟度资料均证实该区烃源岩成熟度偏低,仅达到低熟门槛或刚刚进入早成熟演化阶段^[6]。

常乐凹陷暗色泥岩最大热解峰温 T_{max} 为 436℃,OEP 为 1.76~4.07,藿烷 C₃₁ $\beta\text{S}/(\text{S}+\text{R})$ 为 0.332,藿烷 C₂₉₋₃₁ $\beta\beta/\text{C}_{29-31} \alpha\beta$ 为 0.44^[8],这些成熟度资料证实了该区烃源岩成熟度偏低。此外,常乐凹陷埋藏虽较西场凹陷深,但其地温梯度约比西场凹陷低 1℃/100m,根据乐 2X 井暗色泥岩有机质镜质体反射率(R_o)值实测剖面图(图 4)可以看出,

2 000m以浅的始新统酒席坑组上部泥岩有机质处于未熟阶段,有机质镜质体反射率(R_o)小于 0.4%; 2 000m 以深(始新统酒席坑组上段下部及中段)则进入低成熟门槛,镜质体反射率大于 0.4%,其 R_o 值介于 0.4%~0.5%之间,处在低熟/未熟演化阶段。

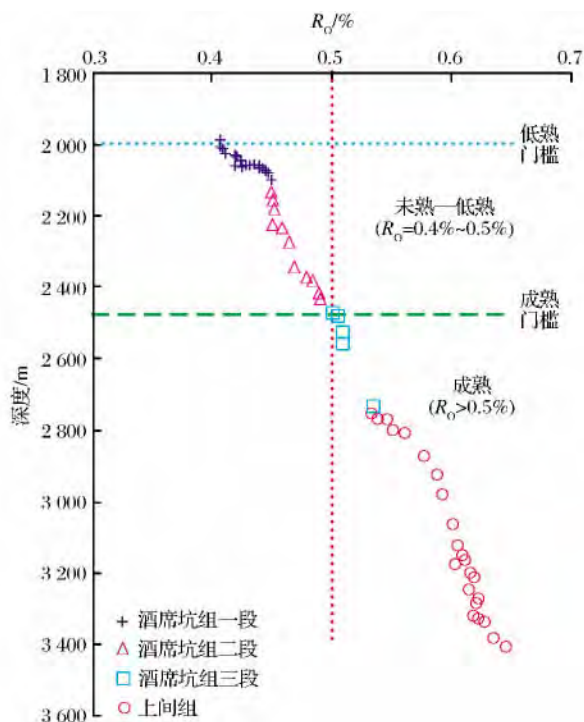


图 4 常乐凹陷乐 2X 井古近系有机质热演化剖面
Fig. 4 The thermal evolution section of Paleogene organic matter in Le 2X wells of Changle Sag

表 2 合浦盆地浅层生物气地球化学特征
Table 2 The geochemistry of shallow biogenic gas in Hepu Basin

地区	油气藏 / 样品	层位	深度 / m	天然气组成 / %				$\delta^{13}C_1 / \%$
				CH ₄	C ₂₊	CO ₂	N ₂	
合浦盆地	小瓶 6-1			86.01	13.99			-56.42
	小瓶 1-1	Q—	30~100	81.53	18.47			-56.18
	小瓶 3-1	N ₁		86.29	13.71			-55.70
	小瓶 4-1			77.43	22.57			-55.70

此外,合浦盆地近年来钻探的多口浅层水井的钻井过程中均发现和见到了非常强烈的天然气显示,多口井水样中采集的天然气燃烧火焰均呈蓝色并高达数米,表明其天然气气藏可能具有一定的自然产能和天然气产量。从表 2 合浦盆地浅层生物气的地球化学特征,可以看出,合浦盆地浅层天然气以甲烷居绝对优势, $C_1 / (C_1 + C_2) > 99\%$, C_2+ 的重烃

含量甚微,几乎没有,甲烷碳同位素值偏低($\delta^{13}C_1 < -55\%$),属于典型的生物气。由此可见,合浦盆地具有形成浅层生物气的潜力。

综上所述,根据合浦盆地西场凹陷西 1 井、西参 2 井、亚 1 井及路 1 井和常乐凹陷乐参 1 井、乐 2X 井等探井资料及多项地球化学指标综合分析,合浦盆地始新统烃源岩有机质丰度较好,其中始新统酒席坑组基本上达到好生油岩标准;有机质类型主要为 II 型,其中西场凹陷低熟烃源岩的生源母质类型主要以 II₁ 型为主,亦含少量 I 型,常乐凹陷低熟烃源岩生源母质类型主要以 II₂ 型为主,含有少量 III 型,且这 2 个凹陷始新统烃源岩多处在未熟/低熟热演化阶段的早期低熟油气窗范围,具有一定的低熟油气生烃潜力及勘探前景。并且,合浦盆地浅层水井中发现强烈的生物气显示,亦可初步判识该盆地具有形成生物气的巨大潜力。

2.2 储盖组合特征

根据亚 1 井钻井揭示,西场凹陷中新界碎屑岩储集层较发育,主要以砂砾岩为主,剖面上主要分布于渐新统沙岗组、始新统酒席坑组、古新统上洋组及上白垩统乌家组。该区共有与酒席坑组生油岩及上洋组生油岩有关的 2 套生储盖组合,其中以与酒席坑组生油岩有关的生储盖组合较有利。与酒席坑组生油岩有关的生储盖组合,根据岩性纵向旋回关系、砂岩百分比变化、泥岩盖层的质量及侧向延伸性等因素,其可划分为 5 个组合:沙岗组下段组合、酒一段组合、酒二段组合、酒三段组合和酒四段组合。其中以酒一段组合、酒二段组合和酒三段组合的找油前景最为良好^[2]。

根据乐 2X 井及邻井乐参 1 井钻井揭示,常乐凹陷碎屑岩储集层主要分布于渐新统沙岗组、始新统酒席坑组、古新统上洋组及上白垩统乌家组,且以砂岩、粉砂岩及含砾砂岩储层为主,虽然总体上粗碎屑岩比较发育,尤其是始新统酒席坑组中上段和渐新统沙岗组砂岩储层不仅较发育且其储集物性良好(表 3),可作为本研究区的主要储集层。但是,由于乐 2X 井处在山麓冲积扇、扇三角洲—水下扇河道砂及滨浅湖相等近物源较强水动力地质背景的区域位置,钻遇的始新统酒席坑组及渐新统沙岗组和上白垩统乌家组砂岩、粉砂岩及含砾砂岩、含砾粉细砂岩等碎屑岩储集层,其泥质含量普遍偏高(9.7%~67.6%),因此,其砾岩储层虽然岩性特征上总体偏粗但储集物性较差,如表 3 中所示古新统上洋组及始新统酒席坑组等主要储集层段的砂岩储层,其储

集物性参数明显偏差,大部分砂岩储层均属低孔低渗、低孔中渗及低孔特低渗级别的储集层,仅存在少量中孔中渗型储集层类型。这表明,常乐凹陷古近系一新近系碎屑岩储集层有效孔隙度和渗透率普遍偏低,油气储集条件欠佳,仅渐新统沙岗组及始新统酒席坑组部分层段砂岩储层的储集物性较好,达到中孔中渗型砂岩储层类型。据乐 2X 井钻遇地层岩性特征及砂泥岩分布厚度,尤其是泥岩封闭盖层的

厚薄及成岩程度等,并结合地质及地球物理测井资料,可大致确定该区自上而下主要有 3 套储盖组合类型,即渐新统沙岗组下段“厚砂薄泥”储盖组合类型、始新统酒席坑组上段及中段上部“厚泥薄砂”储盖组合类型和古新统上洋组中上部“厚泥薄砂”储盖组合类型,其中,以始新统酒席坑组上段及中段上部“厚泥薄砂”储盖组合类型最佳,有利于构成良好的含油气成藏组合体系^[2-3]。

表 3 常乐凹陷乐参 1 井与乐 2X 井主要储层储集物性特征对比

Table 3 The contrast of petrophysical characteristics of main reservoir in Lecan 1 well and Le 2X well in Changle Sag

井号	层位	岩石类型	井段/m	样品数/层数	孔隙度/%			渗透率/($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)			储集物性分级	储层综合评价	
					高值	低值	均值	高值	低值	均值			
乐参 1 井	E _{3s}	细砾岩	943.0~1 969.0	11	18.56	5.70	11.82	1 426.22	0.66	244.52	低孔中渗	较差	
		粗砂岩		17	22.43	5.06	13.37	484.01	0.37	95.67	低孔中渗	较差	
		中砂岩		5	19.41	5.65	14.56	386.99	0.47	87.61	低孔中渗	较差	
	E _{2j}	细砂岩	1 969.0~2 296.0	11	19.41	4.85	11.33	43.75	0.24	11.66	低孔低渗	差	
		粉砂岩		7	18.22	4.87	12.53	3.12	0.21	1.09	低孔特低渗	很差	
		粗砂岩		5	19.69	15.87	17.74	149.24	63.19	102.33	中孔中渗	中	
乐 2X 井	E _{3s}	细砂岩	1 611.7~1 970.9	3	8.18	1.45	4.71	0.21	0.05	0.15	超低孔超低渗	很差	
		粉砂岩		2	7.47	6.41	6.94	0.77	0.12	0.45	特低孔超低渗	非常差	
		粗砂岩		52	18.80	9.50	14.90	117.06	0.61	30.96	中孔低渗	中	
	E _{2j}	细砂岩	2 007.2~2 734.9	79	26.80	0.00	15.70	453.91	0.01	53.90	中孔中渗	较好	
		细砂岩		2 776.2~3 414.6	62	19.70	2.60	12.70	63.87	0.02	6.81	低孔特低渗	较差
		细砂岩			3	8.40	8.10	8.30	0.79	0.28	0.49	特低孔超低渗	很差

2.2.1 渐新统沙岗组下段“厚砂薄泥”储盖组合类型及特征

本套储盖组合中,泥岩等细粒沉积物非常薄,且主要为紫色、紫红色、杂色及绿灰色泥岩,易水化造浆,成岩性较差一较好,成岩程度偏低,根据有机地球化学及岩矿分析鉴定结果,其主要处在早成岩阶段早中期,成岩固结程度较差。这些泥岩单层厚度较薄,且埋藏较浅,成岩性较差,属于封盖能力较差的盖层。显然,这种“厚砂薄泥”且成岩程度较差的储盖组合类型,不利于构成有效的含油气成藏组合类型。

2.2.2 始新统酒席坑组上段及中段上部“厚泥薄砂”储盖组合类型及特征

本套储盖组合中,暗色泥岩分布厚度较大,尤其是在始新统酒席坑组上段,厚度可达 88.5m,占本段地层百分比高达 55.8%,且其成岩程度相对较高,根据有机质演化特点及岩矿分析鉴定,成岩性及成岩固结程度相对较好,已进入早成岩演化阶段的中晚期。此外,暗色泥岩单层厚度较大,一般为 2.0~5.0m,具有较好的封盖能力,与相邻砂砾岩间互层段配置良好,能够构成有效的油气成藏组合类型。

2.2.3 古新统上洋组中上部“厚泥薄砂”储盖组合类型及特征

本套储盖组合中,紫红色及杂色泥岩封盖层较厚,一般为 2.5~6.5m,且其成岩性较好,根据有机质演化特点及岩矿分析鉴定结果,其成岩演化程度已达到了早成岩作用晚期或晚成岩作用早期阶段,故泥岩盖层封盖流体的能力较强,可以构成较好的含油气成藏组合类型。

2.3 油气显示表明存在油气运聚过程

合浦盆地油气勘探程度甚低,虽然迄今尚未获得油气勘探突破,但已发现一系列油气显示,例如,西 1 井始新统酒席坑组深灰色含粉砂泥岩中发现有分散状沥青,裂缝内有条带状沥青;西参 2 井始新统酒席坑组细粒岩屑质石英砂岩的连通孔隙中充填有沥青;在西 1 井和西参 2 井的钻探过程中出现烃类,尤其是重烃气测异常;亚 1 井发现有油砂、气测异常和沥青充填等多种油气显示;在路 1 井砂岩中发现有稠油显示;在常乐凹陷乐参 1 井砂岩储集层中见到沥青条纹,经荧光薄片鉴定为油质沥青。众多油气显示充分表明,合浦盆地存在油气的生成、运移和

聚集过程^[2]。

2.4 圈闭条件

合浦盆地圈闭的数量和类型多,由于盆地面积较小,且呈长条状展布,因此圈闭多位于生油岩成熟区内或距成熟区不远处,并在油气运移的指向上,根据地震资料解释成果,合浦盆地共发现 87 个圈闭,其中西场凹陷有 17 个,常乐凹陷有 70 个,圈闭类型有半背斜、断背斜、潜山、地层尖灭、墙角、断鼻和断块等。

根据常乐凹陷始新统酒席坑组烃源岩埋藏热演化史图分析(图 5)^①,可以看出始新统酒席坑组烃源岩大致在渐新世末期及中新世早期(约 20Ma 左右)进入或达到低熟—成熟生烃门槛。此外,中新世中晚期直到第四纪的埋藏热演化过程中,基本上处在稳定的热沉降过程中,没有大的抬升活动。因此确定主要烃源岩成熟生排烃时期大致在早中新世早期到第四纪(20~1.6Ma)^②。

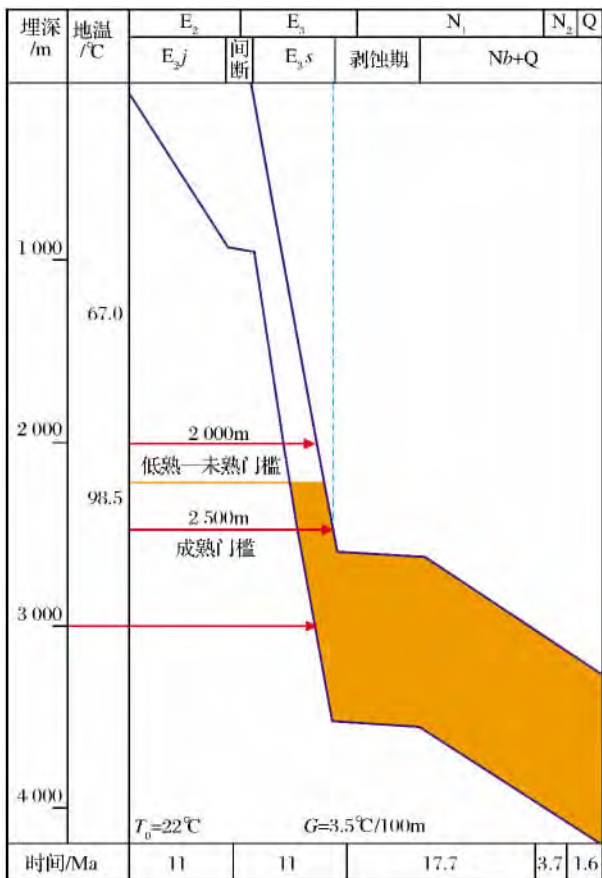


图 5 常乐凹陷始新统酒席坑组埋藏史^①
Fig. 5 The burial history chart of Eocene Jiuxikeng Changle sag in Changle Sag^①

从常乐凹陷含油气系统事件综合分析(图 6)亦可看出,常乐凹陷始新统酒席坑组及古新统上洋组

主要烃源岩油气大量生成时间大致从渐新世晚期—中新世早期(23~16Ma)开始,高峰生排烃时期则应在 12Ma 左右,持续的生运聚时间一直延续至今;圈闭形成时间在渐新世早中期(29~23Ma),定型于渐新世晚期—中新世早期(22~18Ma);主要封盖层形成时间为始新世晚期—渐新世早中期(35~26Ma);油气运聚成藏及保存的关键时刻为早中新世晚期(20Ma 左右)或中新世晚期(16Ma 左右)。综上所述,研究区烃类大量形成时间与油气大规模运聚成藏及圈闭形成时间基本上同步或略有差异^[4],表明研究区主要烃源岩生排烃时间与圈闭形成及油气运聚成藏均相互配置良好,即圈闭有效。

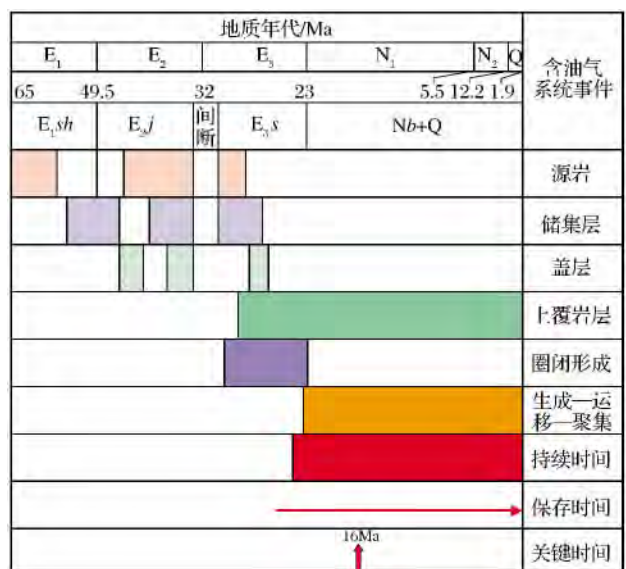


图 6 合浦盆地常乐凹陷古近纪—新近纪地层系统含油气系统事件

Fig. 6 The Paleogene-Neogene petroleum system events chart of Changle Sag in Hepu Basin

2.5 保存条件

低熟油气/生物气由于其成熟度低,埋藏于地层浅部,其储盖层多处于未成岩—弱成岩阶段,孔隙度大且渗透性好,特别是生物气,由于富甲烷气,流动性比常规油气强,易于散失,因此盖层和保存条件对于低熟油气/生物气成藏具有重要意义^[9-10]。

合浦盆地始新统酒席坑组上段及中段上部有 1 套厚层暗色泥岩(可达 88.5m),该段泥岩处于早成岩演化阶段的中晚期,成岩性及成岩固结程度较好,

① 周大钰. 合浦盆地油气地质分析与有利含油区块优选评价. 南地物软件服务有限公司. 内部报告, 2007.

② 张铁海. 广西合浦盆地常乐凹陷川江构造乐 2X 井完井综合录井总结报告. 海南福山油田勘探开发有限责任公司. 内部报告, 2011.

具有较好的封盖能力。古新统上洋组中上部有 1 套厚层紫红色及杂色泥岩封盖(单层厚度可达 2.5~6.5m),该段泥岩成岩演化程度达到了早成岩作用晚期或晚成岩作用早期阶段,故其岩石固结压实程度较高,泥岩盖层封盖流体的能力较强。综上所述,合浦盆地始新统酒席坑组中上段和古新统上洋组中上部泥岩均为良好的低熟油气/生物气的区域性盖层,泥岩分布厚度较大,且其成岩程度相对较高,具有较好的封盖能力。

3 油气勘探前景及方向

根据合浦盆地低熟油气/生物气成藏地质条件及已获取的油气勘探成果,借鉴国内外类似盆地的油气勘探思路、策略及研究成果^[11-20],认为合浦盆地进一步的油气勘探方向及领域为:

(1)合浦盆地生油岩有机质丰度高,类型好,成熟度低,并且在浅层水井中发现强烈的生物气显示,因此,该盆地具有形成未熟—低熟油气/生物气的基本条件,未来应立足于勘探寻找低熟油气及浅层生物气资源为主要目标。

(2)盆地西部的西场凹陷,与主力生油岩系—始新统酒席坑组生油岩有关的 5 个生储盖组合中,以酒一段组合、酒二段组合和酒三段组合的找油前景最佳,即应以找自生自储型油气藏为主;盆地东部的常乐凹陷,在 3 套储盖组合类型中,以始新统酒席坑组上段及中段上部“厚泥薄砂”储盖组合类型最佳,有利于构成良好的含油气成藏组合体系,因此,在今后油气勘探目标评价中应重点寻找酒席坑组上段及中段上部“厚泥薄砂”储盖组合类型。

(3)根据对合浦盆地低熟油气/生物气的生成条件、储盖组合、油气显示特征、圈闭类型和保存条件等研究,可以确定该盆地具备形成一定规模未熟—低熟油气及浅层生物气的基本地质条件,具有较大的资源潜力及勘探前景。同时,从油气运移角度考虑,以位于生油岩成熟区内和邻近成熟区的圈闭对油气的运移和聚集最为有利,并加强和重视对地层相变枢纽带、砂体上倾尖灭带、不整合地层圈闭、古潜山裂缝型圈闭及泥岩裂缝型圈闭等多种隐蔽性圈闭的发现与研究。

总之,合浦盆地低熟油气/生物气生成条件良好,储层物性和生储盖组合有利,圈闭数量多且有效,存在油气的生成、运移和聚集过程,并且区域性盖层对低熟油气/生物气保存条件良好,是华南陆块西南缘上一个很有油气勘探远景的沉积盆地。合浦

盆地未来油气勘探方向及重点勘探领域,应围绕低熟烃源供给区,主要立足勘探寻找低熟油气及浅层生物气,争取尽快获得油气勘探的突破。

4 结论

(1)合浦盆地迄今为止所钻遇古近系烃源岩,多属于较高有机质丰度的偏腐殖混合型/偏腐泥混合型低熟烃源岩,由于其成熟度偏低,多处在未熟或低熟热演化阶段的早期低熟油气窗,具备了低熟油气及生物气形成的基本地质条件。

(2)根据对合浦盆地低熟油气/生物气的生成条件、储盖条件、运移条件、圈闭条件和保存条件的研究,可以确定该盆地具备形成一定规模的未熟—低熟油气及浅层生物气成藏地质条件,具有较大的资源潜力及勘探前景。

(3)合浦盆地未来油气勘探方向及重点勘探领域,应主要立足勘探寻找低熟油气及浅层生物气,争取尽快获得油气勘探的突破。

参考文献(References):

- [1] Lu Mingde. Comprehensive Evaluation of Oil and Gas Resources in Hepu Basin, Guangxi[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994. [陆明德. 广西合浦盆地油气资源综合评价研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.]
- [2] Ye Jiaren, Lu Mingde, Zhou Dayu. Exploration prospects and direction of the Hepu Basin, Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 1995, 2(1): 34-37. [叶加仁, 陆明德, 周大钰. 广西合浦盆地油气勘探远景和方向[J]. 广西科学, 1995, 2(1): 34-37.]
- [3] Gao Zhilong, Chen Jianyu, He Sheng, et al. Study and prospective evaluation on oil and gas in Hepu Basin[J]. Guangxi Geology, 1997, 10(4): 41-46. [高志龙, 陈建渝, 何生, 等. 合浦盆地的油气远景评价与研究[J]. 广西地质, 1997, 10(4): 41-46.]
- [4] He Sheng, Zhang Boquan, Gao Zhilong, et al. The Report of Denudation, Oil and Gas Formation and Hydrocarbon Migration in Hepu Basin, Guangxi[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994. [何生, 张博全, 高志龙, 等. 广西合浦盆地地层剥蚀、油气形成及油气运移报告[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.]
- [5] Wang Lianjin, Wu Chonglong, Li Shaohu, et al. Petroleum system of the Baise Basin, Guangxi Province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(2): 113-116. [王连进, 吴冲龙, 李绍虎, 等. 广西百色盆地油气系统[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 113-116.]
- [6] Gao Zhilong, He Sheng, Chen Jianyu. Organic geochemical characters of source rocks in Hepu Basin[J]. Earth Science, 1995, 20(1): 101-106. [高志龙, 何生, 陈建渝. 合浦盆地生油岩有机地球化学特征[J]. 地球科学, 1995, 20(1): 101-106.]
- [7] Wang Tieguan, Zhong Ningning, Hou Dujie, et al. The For-

- mation Mechanism and Distribution of Low Mature Oil and Gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. [王铁冠, 钟宁宁, 候读杰, 等. 低熟油气形成机理与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.]
- [8] Shao Changmin, Zhao Bin. Organic geochemical characteristics and exploration potential analysis of hydrocarbon source rocks in Hepu, Nanning, Ningming and Baise Basins, Guangxi province[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2011, 16(1): 33-44. [邵昌民, 赵斌. 广西合浦、南宁、宁明、百色盆地烃源岩有机地球化学特征与勘探潜力分析[J]. 海相油气地质, 2011, 16(1): 33-44.]
- [9] Dai Jinxing, Pei Xigu, Qi Houfa. Natural Gas Geology in China (volume 1) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. [戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.]
- [10] Zhang Yigang. Generation of natural gas and evaluation method of gas source rock[M]// Collection of Oil and Gas Geology episode 4. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. [张义纲. 天然气的生成和气源岩评价方法[M]//石油和天然气地质文集(第4集). 北京: 石油工业出版社, 1994.]
- [11] Writing Group of Petroleum Geology of China in Yunnan, Guizhou and Guangxi province. Petroleum Geology of China (Oil and Gas Zone in Yunnan, Guizhou and Guangxi Province) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992; 357-366. [滇黔桂石油地质志编写组. 中国石油地质志(滇黔桂油气区)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992; 357-366.]
- [12] Liu Wenhui, Huang Difan, Xiong Chuanbin, et al. The development of hydrocarbon generation theory and the distribution and research status of foreign immature-low mature oil and gas[J]. Natural Gas Geoscience, 1999, 10(1/2): 1-22. [刘文汇, 黄第藩, 熊传斌, 等. 成烃理论的发展及国外未熟—低熟油气的分布与研究现状[J]. 天然气地球科学, 1999, 10(1/2): 1-22.]
- [13] Huang Difan, Zhang Dajiang, Wang Peirong, et al. The Formation Mechanism and Reservoir Conditions of Chinese Immature Petroleum [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003, 1981: 1-58. [黄第藩, 张大江, 王培荣, 等. 中国未成熟石油成因机制和成藏条件[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003, 1981: 1-58.]
- [14] Shi Jiyang, Xiang Mingju, Qu Dingchuang, et al. Parent material and source of low mature of oil and gas[J]. Natural Gas Geoscience, 1993, 4(6): 47-56. [史继扬, 向明菊, 屈定创, 等. 低成熟油气成因中的母质和烃源问题[J]. 天然气地球科学, 1993, 4(6): 47-56.]
- [15] Huang Difan, Li Jinchao. Immature oil and its significance in continental sedimentary[J]. Acta Petrolei Sinica, 1987, 8(1): 1-9. [黄第藩, 李晋超. 陆相沉积中的未熟石油及其意义[J]. 石油学报, 1987, 8(1): 1-9.]
- [16] Gao Yang, Jin Qiang, Shuai Yanhua, et al. Genetic types and accumulation conditions of biogas in Bohaiwan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(3): 407-414. [高阳, 金强, 帅燕华, 等. 渤海湾盆地生物气成因类型与成藏条件[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 407-414.]
- [17] Wang Wanchun, Ren Junhu, Zhang Xiaojun, et al. Geochemical characteristics and origin of low-mature oil-associated gases from south region of Kongdian, Huanghua Depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(2): 153-156. [王万春, 任军虎, 张小军, 等. 黄骅坳陷孔店南区低熟油伴生气地球化学特征与成因[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(2): 153-156.]
- [18] Wang Zuodong, Tao Mingxin, Meng Qianxiang, et al. Research Progress of source rocks and formation of low evolution oil and gas in Turpan-Hami Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6): 754-760. [王作栋, 陶明信, 孟仟祥, 等. 吐哈盆地烃源岩研究进展与低演化油气的形成[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(6): 754-760.]

Reservoir Geological Conditions and Exploration Prospects of Low Mature Oil and Gas/Bio-gas in Hepu Basin, Guangxi

ZHANG Jing-ru^{1,2}, HE Jia-xiong^{1,2}, LU Jun-wen³, GONG Xiao-feng^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

3. Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: This paper discussed the amount, type, and maturity of low mature source rocks as well as the conditions of source-reservoir-caprock association, trap, and hydrocarbon migration and preservation in Hepu Basin. The results indicate that the Hepu Basin is a sedimentary basin of great hydrocarbon potential in the continental block of south China, with good reservoir geological conditions of low mature oil and gas/Bio-gas and processes of their formation, mobility and accumulation. The exploration direction of low mature oil and gas/bio-gas resources in Hepu Basin was suggested.

Key words: Hepu Basin; Low mature oil and gas/bio-gas; Hydrocarbon conditions; Reservoir geological conditions; Exploration prospects and direction