

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

邵昌民¹, 赵斌²

(1 中国石化西南油气分公司; 2 中国石化石油工程西南公司广西钻井分公司)

摘要 广西合浦、南宁、宁明等第三系盆地的主要烃源岩层与百色盆地一样,均是中始新统深湖—半深湖相暗色泥质岩层,特点是分布面积广,厚度大,有机质丰度高。有机碳含量多数大于2.0%,达到“好”到“最好”的评价标准。有机质成熟度多数处于低熟阶段,部分在成熟阶段。干酪根类型主要为Ⅱ₁型。综合分析认为:合浦、南宁、宁明三个盆地都具有优质的生烃物质基础,也有好的储集保存条件,都具有一定的油气勘探潜力。但烃源岩有机质成熟度除了合浦常乐凹陷进入成熟阶段能生成成熟油气外,其余的南宁盆地、宁明盆地及合浦盆地西场凹陷都在低熟阶段,所以应以勘探低熟油气为主。

关键词 第三系; 烃源岩; 有机地球化学特征; 勘探潜力; 合浦盆地; 南宁盆地; 宁明盆地; 百色盆地

中图分类号: TE125.2 **文献标识码**: A

1 概况

广西地处华南褶皱带,在早第三纪,燕山运动三幕末期(65.5 Ma)的广西古地理环境大体和晚白垩世后期相似,气候炎热干燥,生物稀少。桂北、桂西北大部分地区的地势较高,风化剥蚀严重,因此没有第三纪沉积;而在桂东南、桂南和右江流域,地势相对较低,由断陷发育而成的陆上湖泊相和海陆交互相盆地,开始了早第三纪沉积。桂东零星分布的山间盆地,也有早第三纪沉积^[1]。这些第三系盆地基本经历了拗陷成盆期、拗陷发展期、拗陷扩展—收缩期、盆地消亡期等四个发育演化阶段。现今分布在桂南的第三系残留盆地有30多个,面积大于300 km²的有9个,其中百色盆地已建成油气生产基地(图1)。

为了对百色盆地以外的第三系盆地的石油资源条件进行深入研究,在2000年全国第三次油气资源评价中,选取了广西南部四个油气地质条件较好的盆地——合浦盆地、南宁盆地、宁明盆地、上思盆地(图1)——作了全面的油气资源评价研究^①。评价

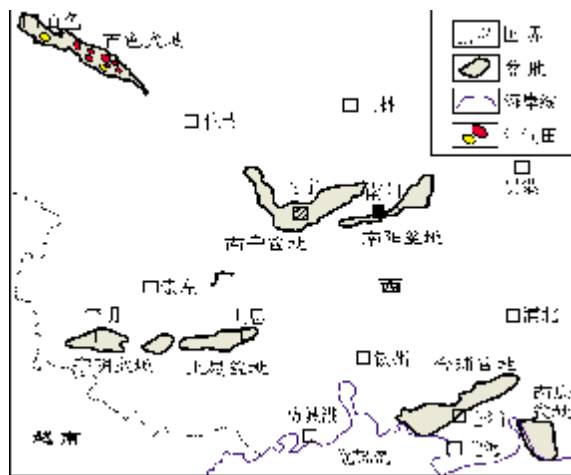


图1 广西南部部分第三系盆地分布位置示意图

研究发现,由于广西第三系盆地的发育过程大致相同,各盆地的烃源岩层也与百色盆地的基本相同^[2],合浦盆地酒席坑组、南宁盆地古亭组、宁明盆地地下大闸组的烃源岩层位与广西西部百色盆地的主力烃源岩层那读组同属于中—上始新统,因此这四个盆地的烃源岩层基本上可以进行对比(表1)。

收稿日期: 2009-03-08; 改回日期: 2010-11-08

邵昌民: 1950年生,高级工程师。1975年毕业于华东石油学院地质专业。从事钻井地质、油气勘探项目管理、石油地质勘探综合研究等工作。通讯地址: 530023 广西南宁市葛村路18号

① 邵昌民,黄开创,等. 广西合浦南宁宁明上思盆地油气资源评价[R]. 滇黔桂油田分公司研究院. 2000.

表1 广西百色、合浦、南宁、宁明四盆地第三系地层划分对比表

地 层 系 统				百色盆地	合浦盆地	南宁盆地	宁明盆地
第 三 系	上第三系	上新统(N ₂)		长蛇岭组(Nch)	白沙江组(Nb)	烟墩岭组(Ny)	弄怀组(Nn) (已剥蚀)
		中新统(N ₁)					
	下第三系	渐新统(E ₃)		建都岭组(E _{3j})	沙岗组(E _{3s})	北 湖 组(E _{3b})	宁 明 组(E _{3n})
				伏 平 组(E _{3f})		里 彩 组(E _{3l})	
		始新统(E ₂)	上	百 岗 组(E _{2b})	酒席坑组(E _{2j})	南 湖 组(E _{2n})	上大闸组(E _{2sd})
			中	那 读 组(E _{2n})		古 亭 组(E _{2g})	下大闸组(E _{2xd})
			下	洞 均 组(E _{2d})		凤凰山组(E _{2f})	
		古新统(E ₁)		六 咀 组(E _{1l})	上 洋 组(E _{1s})	瓦窑村组(E _{1w})	
前 第 三 系				中三叠统	上白垩统 泥盆系—志留系	三叠系—泥盆系 寒武系	侏罗系 三叠系

2 合浦盆地

合浦盆地位于广西南部北部湾沿海的合浦—浦北一带,呈北东—南西向长条状分布,是在中生界白垩系基础上沉积的海陆交互相第三系原生盆地。盆地地跨海陆,总面积约1 200 km²,其中陆上面积1 040 km²,海上面积160 km²[3]。盆地内二级构造西场凹陷和常乐凹陷是油气勘探主体。根据钻井和地震解释资料,西场凹陷陆上面积440 km²,第三系厚3 000 m,基底埋深4000 m;常乐凹陷面积450 km²,第三系厚4 800 m,基底埋深5100 m,盆地基底主要由晚白垩世火山岩和碎屑岩、泥盆纪碎屑岩及火成岩、志留纪浅变质岩等组成。

合浦盆地在西参2井钻探过程中,在酒席坑组砂岩储集层孔隙中发现有沥青和稠油显示,并在酒席坑组和基底不整合面以下的志留系地层中发现气测异常,这说明合浦盆地曾有油气生储过程。

2.1 烃源岩层的分布

合浦盆地始新统酒席坑组(E_{2j})灰褐色泥岩是主要的烃源岩层,古新统上洋组二段(E_{1s}²)褐灰色泥岩是次一级的烃源岩层。由于合浦盆地是处于勘探早期的盆地,为研究盆地的烃源岩,工作中统计了所有钻井资料中的酒席坑组烃源岩厚度数据,即用钻井资料的砂泥岩比、一般泥岩和暗色泥岩比,并参考地震资料解释厚度,按比例算出烃源岩厚度,此外还做了26个人工井,以增加资料密度。据此编成了合

浦盆地酒席坑组烃源岩厚度等值线图(图2a)。

图2a显示,酒席坑组烃源岩50 m厚度等值线几乎分布于全盆地,总面积约为533 km²。烃源岩发育中心主要在西场凹陷和常乐凹陷。其中西场凹陷烃源岩分布面积约277 km²,一般厚度150~250 m,在南7井处最厚350 m。常乐凹陷在构造上明显被两条北东向走滑断层所切割,地震剖面(图2b中A—A'剖面)显示,从北往南形成了北部斜坡、中部断陷带、南部斜坡独特的三段式构造格局。

常乐凹陷在北部斜坡和南部斜坡处酒席坑组沉积厚度160~660 m,而中部断陷带内的沉积厚度在1 350~2 350 m。根据西场凹陷中路1井和亚1井酒席坑组暗色泥岩(烃源岩)占沉积地层总厚度50%~60%,按60%的比例计算,常乐凹陷酒席坑组烃源岩分布面积约256 km²,在北斜坡和南斜坡处烃源岩厚度为50~400 m,中部断陷带内烃源岩厚度为800~1 400 m。充分显示了合浦盆地具有极好的烃源物质基础^②。

2.2 烃源岩有机质丰度

有机质丰度是决定烃源岩生烃潜力的重要因素之一。合浦盆地在始新世酒席坑期是“二次成盆”期,此时湖面扩大,湖水加深,并伴有海水侵入,属微咸—淡水状态的半深湖—深湖环境。该时期气候温暖、低等水生菌藻类等大量繁殖,陆生高等植物茂盛,提供了优质丰富的烃源物质。酒席坑期盆地的快速沉降(沉降速率达42 m/Ma),给有机质提供了有

② 陈元壮,劳宪平,等. 合浦盆地1998年勘探成果总结及1999年勘探计划部署研究[R]. 滇黔桂油田分公司研究院, 2000.

利的保存条件。根据部分钻井岩心样品的有机地球化学分析统计数据,酒席坑组暗色泥岩在多数井中达到“最好”、少数井中达到“好”的陆相烃源岩有机质丰度评价标准^[4](表 2)。

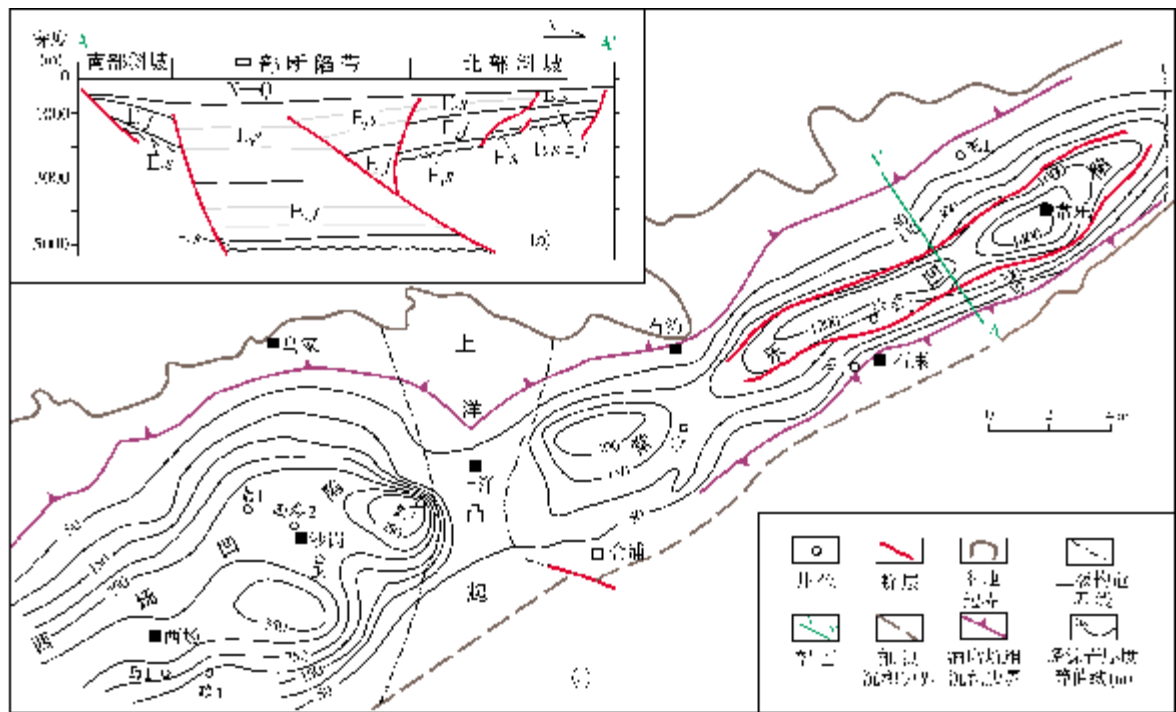


图 2 合浦盆地始新统酒席坑组烃源岩厚度等值线图(a)和常乐凹陷下第三系构造横剖面示意图(b)

表 2 合浦盆地酒席坑组部分钻井烃源岩有机质丰度统计表

构造	井号	井段 (m)	烃源岩厚度 (m)	TOC (%)	氯仿沥青“A” (%)	HC ($\times 10^{-6}$)	“A”/ TOC (mg/g)	(S ₁ +S ₂) (mg/g)	烃源岩 类型
西场 凹陷	西 1 井	1204.5~1715.0	282.0	4.31(34)	0.4423(28)	107.84(18)	131.46(28)	38.97(18)	好—最好
	西参 2 井	914.0~1300.5	251.5	3.16(49)	0.1431(44)	369.66(8)	46.24(44)	14.57(8)	好—最好
	亚 1 井	792.0~1098.0	217.5	3.74(14)	0.2178(14)	493.20(5)	53.65(14)	18.63(5)	好—最好
	路 1 井	738.0~1067.5	176.5	4.24(15)	0.2512(15)	1842.00(3)	52.34(15)	57.20(3)	最好
	南 1 井	233.0~451.5	152.0	2.85(2)	0.2010(2)	262.78(2)	70.97(2)	9.23(2)	好—最好
常乐 凹陷	乐参 1 井	1969.0~2296.0	119.0	2.10(29)	0.1036(12)	437.00(12)	47.98(12)	18.64(12)	好—最好
	沙 1 井	582.0~1279.5	116.5	2.25(9)	0.0671(7)	224.50(2)	35.06(7)	11.73(2)	好—最好
	龙 1 井	532.6~751.0	10.05	1.08(2)	0.0678(2)	未测	62.81(2)	未测	好
	石 1 井	284.0~665.6	49.5	2.18(7)	0.1239(7)	未测	49.14(7)	未测	好—最好

注: TOC、氯仿沥青“A”、HC 等为平均值。括号内数据为样品数。

为了整体评价合浦盆地的烃源岩有机质丰度,我们以凹陷为单位分别统计了酒席坑组烃源岩各项有机地球化学数据的平均值,结果是西场凹陷烃源岩有机碳(TOC)含量为3.71%;氯仿沥青“A”为0.2515%;全烃(HC)含量为827.67 $\times 10^{-6}$;生烃潜量(S₁+S₂)为

24.90 mg/g, 达到了“最好”级别的有机质丰度评价标准。

常乐凹陷酒席坑组烃源岩 TOC 含量平均为 2.10%;氯仿沥青“A”为0.113 8%; HC 含量为406.64 $\times 10^{-6}$, (S₁+S₂)为10.60 mg/g。达到了“好—最好”级别的

标准。

从资料来看,西场凹陷有机质丰度优于常乐凹陷。

2.3 烃源岩有机质类型

有机质(干酪根)类型是决定烃源岩生烃性质和生烃潜能的重要因素。根据元素分析、干酪根镜检、岩石热解等资料,西场凹陷酒席坑组烃源岩干酪根类型以Ⅱ₁型为主,少量为Ⅰ型;而常乐凹陷以Ⅱ₂型为主,少量Ⅱ₁型。

因此,西场凹陷的烃源岩生成液态烃能力明显优于常乐凹陷。

2.3.1 西场凹陷

西场凹陷酒席坑组烃源岩有机质(干酪根)中H/C原子比为1.14~1.68,O/C原子比为0.11~0.19。干酪根类型镜检分析在镜下呈片状、絮状;富氢无定形的占13%~95%,其次为镜质体,壳质体少量,惰质体极少;Ⅱ₁—Ⅰ型干酪根含量大于50%,以Ⅱ₁型为主(图3)。采用亚1井、路1井烃源岩样作热解分析,判别的干酪根类型与元素分析和镜检的结果相吻合,均证实了西场凹陷酒席坑组烃源岩干酪根类型以Ⅱ₁型为主,少量Ⅰ型。

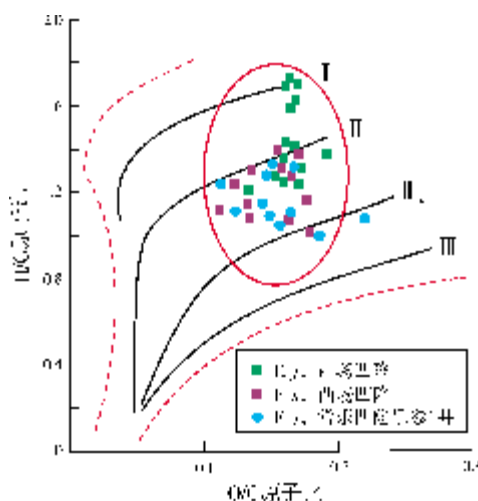


图3 合浦盆地干酪根类型范氏图

E_{2j} 酒席坑组; E_{2s} 沙岗组

2.3.2 常乐凹陷

常乐凹陷酒席坑组烃源岩有机质(干酪根)中H/C原子比为1.088~1.35,O/C原子比为0.108~0.188,范氏图上分布在Ⅱ₁—Ⅱ₂之间(图3)。干酪根类型的镜检样品来自乐参1井,镜下以菌解无定形

体占优势,达24.29%~83.53%,镜质体、壳质体、腐殖无定形体依次减少。岩石热解分析与元素分析和镜检的结果相一致,酒席坑组烃源岩干酪根类型以Ⅱ₂型为主,其次是Ⅱ₁型,少量Ⅲ型。

Ⅰ型和Ⅱ₁型干酪根富氢和脂链结构,生烃能力较强,在热解作用下以生液态烃为主;而Ⅱ₂型和Ⅲ型干酪根贫氢富氧,脂链结构不发育,生烃能力较低,在热解作用下以生气态烃为主^[5]。西场凹陷烃源岩干酪根类型主要是Ⅱ₁型,其次是Ⅰ型,以生液态烃为主,烃源岩生烃潜量较高,(S₁+S₂)平均为24.90 mg/g。而常乐凹陷可能是由于样品来源的乐参1井位于常乐凹陷南斜坡较高位置(图2a),所以陆生高等植物生源较多,干酪根类型主要是Ⅱ₂型,以生气态烃为主。生烃潜量较低,(S₁+S₂)平均为10.60 mg/g。

2.4 可溶有机质地球化学特征

2.4.1 西场凹陷

饱和烃色谱组成特征 色谱峰型呈现前峰型、双峰型和后峰型,以双峰型居多(图4a—4d)。单峰型主峰碳以C₁₉或C₂₇为主,双峰型主峰碳以C₁₇与C₂₇或C₁₉与C₂₇为主。当主峰碳分布范围为C₁₅~C₂₉时,既包含了低等水生生物,也包含了高等陆生植物为其烃源物质。姥鲨烷和植烷的比值(Pr/Ph)是评价沉积环境的重要指标。当Pr/Ph值在0.2~0.8时代表了咸水深湖相强还原沉积环境,而在0.8~2.8时为淡水—咸水深湖相还原环境。本区样品多数在0.8~1.8之间,呈姥鲨烷、植烷均势,说明是咸水和淡水兼有的海陆交互相深水沉积还原环境(图4b、4d)。据不同沉积相中Pr/Ph值的变化研究结果,饱和烃中还反映出甾萜烷(C₂₇~C₃₄)十分丰富,有的甚至接近正构烷烃含量,反映低等水生生物丰富(图4a—4c)。

甾萜烷生物标志物特征 烃源岩中保留了丰富的甾萜烷,以生物构型为主(图4a—4c)。生物标志物组成上显示了相当丰富的C₂₈~C₃₀ 4-甲基甾萜烷类,与正常甾萜烷的比值为1.03~1.57。这种甾萜烷来源于甲藻类生源,存在于海相与湖相发育的环境中,正常甾萜烷C₂₇~C₂₉与C₂₈~C₃₀ 4-甲基甾萜烷均呈V字型分布,正常甾萜烷C₂₇>C₂₈且C₂₈<C₂₉,说明藻类超过高等植物生源输入。藿烷与正常甾萜烷的比值远远大于1,反映了大量细菌生源的输入。藿烷类以藿烯为优势,反映了烃源岩的低熟性。在四萜烷中还检出了C₄₀β胡萝

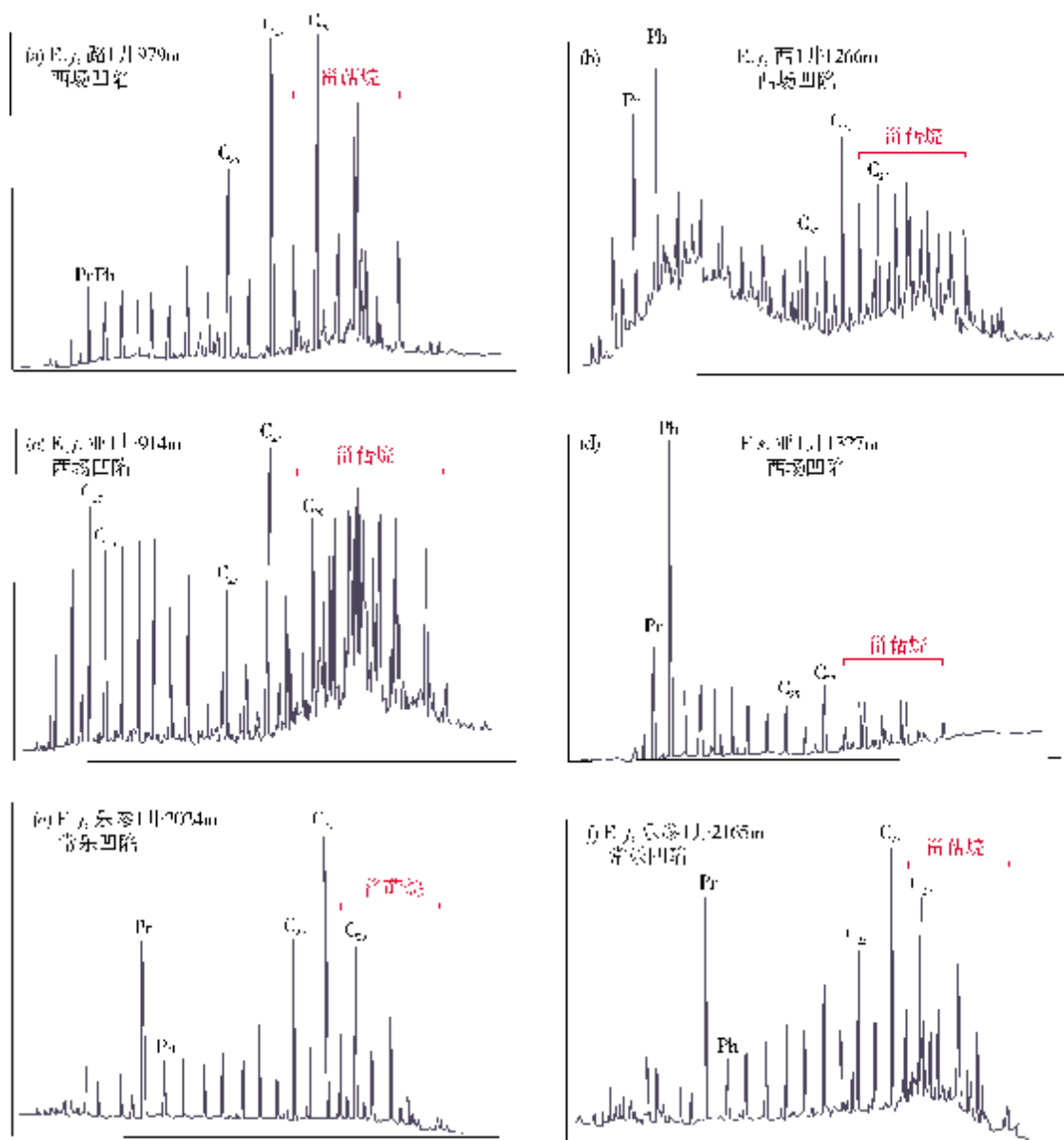


图4 合浦盆地酒席坑组烃源岩气相色谱图

E_{2j} 酒席坑组; E_{2s} 沙岗组

卜烷,它来源于植物(色素)生源,极易氧化,它的存在反映了快速沉降的、强还原的湖相沉积环境。少数倍半萜烷、双萜烷则来源于高等植物树脂生源。

2.4.2 常乐凹陷

饱和烃色谱组成特征 烃源岩饱和烃色谱主要是后峰型(图 4e、4f)。主峰碳为 C₂₇ 或 C₂₉,反映有机质以陆生高等植物为主。Pr/Ph 值在 1.3~3.2 之间,属弱氧化沉积环境。

甾烷生物标志物特征 常乐凹陷斜坡带生物

标志化合物中,藿烷/甾烷的比值高(为 26.39)。常乐凹陷甾烷同时存在 20R 生物构型和 20S 地质构型,而且 20S 地质构型含量比西场凹陷高,说明常乐凹陷成熟度高于西场凹陷。正常甾烷同样存在 V 型分布,但 C₂₉ 甾烷明显高于 C₂₇ 甾烷,反映以陆生高等植物输入为主。

常乐凹陷还检出了西场凹陷没有的脱 A-羽扇烷、17-和 21-断藿烷以及少量的伽马蜡烷,它们分别来源于高等植物和细菌等生物。各项参数充分表明,常乐凹陷斜坡带有机质为混源输入,以陆生高等

植物为主,伴有少量低等生物输入。

经烃源岩有机质类型和可溶有机质地球化学特征资料综合,认为造成西场凹陷和常乐凹陷有机质类型差异的原因,可能是与合浦盆地第三纪时的地形有关。西场凹陷地形较低,更靠近海,海水时进时退,是典型的海陆交互相,所以伴随沉积的生物有丰富的菌藻类等低等水生生物,故其干酪根类型就以Ⅱ₁型为主,少量Ⅰ型;而常乐凹陷地形相对较高,且离海相对稍远,海水进入相对较少,以淡水为主,较多的陆生高等植物和少量的水生低等生物伴随沉积,其体现在干酪根类型上,就出现以Ⅱ₂型为主的混源特征。

2.5 烃源岩有机质成熟度

根据我国陆相烃源岩地球化学评价标准^[4],未成熟阶段的镜质体反射率 $R_o < 0.5\%$,低熟阶段 R_o 为 $0.5\% \sim 0.7\%$,成熟阶段 R_o 为 $0.7\% \sim 1.3\%$,高成熟阶段 R_o 为 $1.3\% \sim 2.0\%$,过成熟阶段 $R_o > 2.0\%$ 。目前国内学者也普遍认为 $R_o = 0.3\% \sim 0.5\%$ 为未熟阶段, $R_o = 0.5\% \sim 0.7\%$ 为低熟阶段^[6-8]。

西场凹陷酒席坑组烃源岩埋藏深度 $400 \sim 2200\text{m}$ 。 R_o 为 $0.3\% \sim 0.6\%$,最大热解峰温 T_{\max} 为 $420 \sim 435^\circ\text{C}$,OEP为 $1.40 \sim 4.71$,孢粉(干酪根)颜色为浅黄—黄色,藿烷 $C_{31}\beta S/(R+S)$ 为 0.30 ,藿烷 $C_{29-31}\beta\beta/C_{29-31}\alpha\beta$ 为 0.30 。有机质主要处于未熟—低熟阶段。

常乐凹陷则相反,因为凹陷中部断陷带酒席坑组烃源岩埋深大($700 \sim 5000\text{m}$), R_o 为 $0.3\% \sim 1.2\%$,最大热解峰温 T_{\max} 为 436°C ,OEP为 $1.76 \sim 4.07$,藿烷 $C_{31}\beta S/(R+S)$ 为 0.332 ,藿烷 $C_{29-31}\beta\beta/C_{29-31}\alpha\beta$ 为 0.443 。中部断陷带大部分埋深约在 2300m 以下,烃源岩已进入成熟阶段,小部分埋藏浅于 2300m 的则处在未熟—低熟阶段。

2.6 盆地的成烃演化史

根据黏土矿物转化以及TTI值拟合实测 R_o 值两种方法,求得合浦盆地古地温梯度的平均值为 $3.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。据此推论,在西场凹陷中部最大埋深处,酒席坑组烃源岩底界在中新世晚期进入成熟门限,中部在上新世中晚期进入成熟门限。而在常乐凹陷中部断陷带,酒席坑组烃源岩底界在渐新世早、中期进入成熟门限,顶界在中新世进入成熟门限。

3 南宁盆地

南宁盆地位于广西南宁市辖区内,是叠置在古生界海相地层之上的第三系陆相残留盆地,盆地呈L型,从西往东分别是那龙凹陷、杨美凸起、北湖凹陷三个二级构造,总面积 948km^2 (图5)。近东西向的北湖凹陷为盆地的油气勘探主体(下称南宁盆地),面积达 640km^2 。第三系沉积厚度 $2800 \sim 3200\text{m}$,剥蚀厚度为 $870 \sim 1200\text{m}$,残留厚度约 2000m ,基底埋深达 1850m ,盆地基底由三叠系、二叠系、石炭系、泥盆系、寒武系等海相地层构成。第三系从古新统到上新统皆有分布^[9]。1999年在南宁东侧的地质剖面始新统古亭组(E_2g)砂岩中发现 $30\text{cm} \times 50\text{cm}$ 不规则状的固体沥青,证明盆地曾经有过成烃成藏的过程。

3.1 烃源岩的分布

南宁盆地始新统古亭组灰褐色泥岩是主力烃源岩层,南湖组(E_2n)褐灰色泥岩是次级烃源岩层。古亭组主要是褐灰色、深灰色富含有机质的泥岩,分布面积 402km^2 ,发育中心在北湖凹陷东侧,最厚达 500m ,一般 $150 \sim 400\text{m}$,平均 200m (图5)。南湖组下段的烃源岩主要是一套灰褐色、深灰色泥岩,是次一级的烃源岩,面积 342km^2 ,发育中心在北湖凹陷中部,最大厚度 250m ,一般 150m 。

3.2 烃源岩有机质丰度

南宁盆地在中始新世气候温暖潮湿,低等水生生物繁盛、高等植物茂盛,所以古亭组和南湖组烃源岩有机质丰富。其中古亭组平均有机碳含量为 2.0% ,氯仿沥青“A”为 0.1006% ;南湖组平均有机碳含量为 1.49% ,氯仿沥青“A”为 0.1056% 。因此,古亭组和南湖组的烃源岩有机质丰度都达到了“好”的评价指标。

3.3 烃源岩有机质类型

经采样分析,古亭组烃源岩有机质(干酪根)类型主要是Ⅱ₁型,其次是Ⅱ₂型;南湖组主要为Ⅱ₂型,部分Ⅱ₁型。

3.4 烃源岩有机质成熟度

南宁盆地古亭组烃源岩有机质镜质体反射率 $R_o < 0.6\%$,处于低熟阶段,南湖组的 $R_o < 0.56\%$,处在

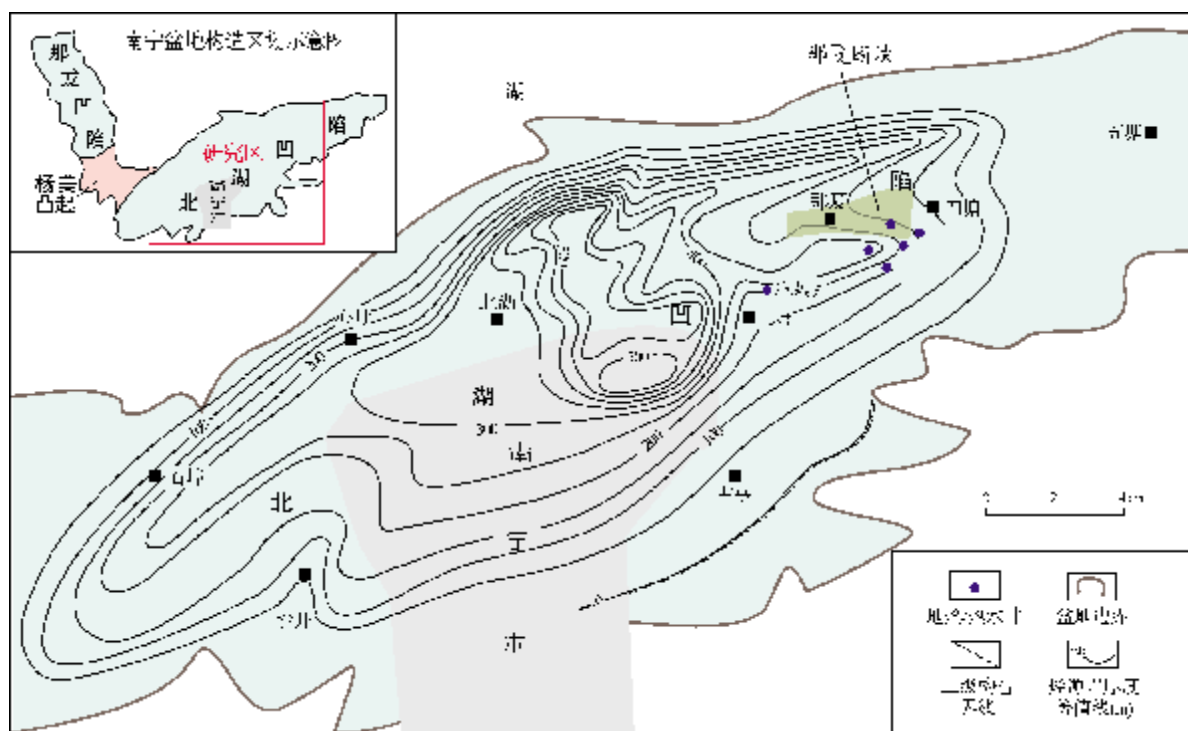


图5 南宁盆地构造区划及始新统古亭组烃源岩厚度等值线图

未熟—低熟阶段。采用古亭组烃源岩样品进行热模拟试验,结果在热模拟产烃率图上,有机质成熟度在 $R_o=0.7\%$ 前就有大量气态烃产出,但液态烃产出率很低(图6)。因此,南宁盆地的油气勘探方向应该是寻找低熟油气。

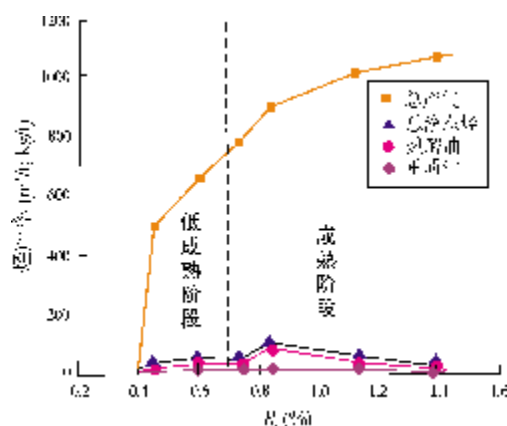


图6 南宁盆地始新统古亭组烃源岩样品热模拟产烃率图

3.5 对盆地烃源岩的进一步认识

那夏断块,是南宁盆地北湖凹陷中相对隆起的高位断块(相当于洼中隆),它接近凹陷中心生油区,

有利于对盆地底部成熟油气的捕捉,是有利的油气储集构造。

2005年,勘探单位曾先后在三塘和四塘附近钻过6口地热井和热水井,这些井的钻深都在1000m左右,均钻穿了第三系进入盆地基底寒武系,但均未发现油气显示。

录井发现,南宁盆地第三系南湖组以上地层的岩屑,基本上是糊状,分不清是砂岩或是泥岩。作为主力烃源岩,古亭组的岩屑也是极具黏性和塑性,都表现为成岩性不好。经测定,古亭组—南湖组的泥岩密度仅为 $2.23\sim 2.30\text{ g/cm}^3$ 。相比之下,百色盆地的主力烃源岩(那读组),褐灰色,泥质成岩性很好,录井岩屑颗粒呈棱角状。百色盆地第三系岩石的平均密度是 2.50 g/cm^3 ^③,比南宁盆地高出 $0.2\sim 0.3\text{ g/cm}^3$ 左右。这一对比,说明由于南宁盆地烃源岩成岩性较低,造成了有机质的成熟度偏低,烃源岩的质量也相对较低。

4 宁明盆地

宁明盆地位于广西南宁明县境内,是叠置在十万大山盆地中生界侏罗系和三叠系陆相地层之上的第

③ 邵昌民,姚正实,等.非地震物化探勘探技术在滇黔桂地区勘探前期工程中的推广应用[R].滇黔桂石油勘探局研究院,1994.

三系残留盆地。盆地呈菱形,东西向分布,总面积 360 km²,下第三系埋深 1 300 m。地层缺失下第三系古新统,只沉积了始新统下大闸组(E₂xd)、上大闸组(E₂sd),渐新统宁明组(E₃n)和上第三系弄怀组(Nn)。但盆地在后期的抬升过程中,已经沉积的弄怀组也被剥蚀殆尽^[10]。始新统下大闸组大套灰褐色泥岩是盆地的主力烃源岩。(图 7)。

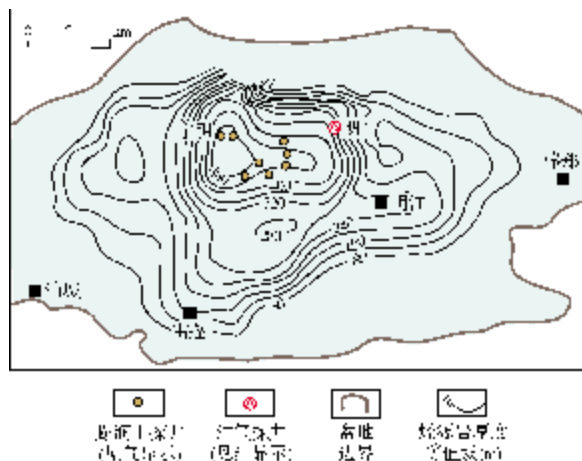


图 7 宁明盆地始新统下大闸组烃源岩厚度等值线图

宁明盆地天然气显示比较活跃,共有 11 口井(明 1 井和 10 口探膨润土浅井)发现天然气显示。石油探井明 1 井在钻探过程中,于宁明组(E₃n)泥岩段(474~480 m)中发现槽面气侵显示,大量天然气气泡满泥浆槽面。气测全烃(HC)含量为 4%,C₁为 0.72%,C₂为 0.09%,C₃为 0.03%。另外,在井深 945~1 024.23 m 的基底中三叠统英安斑岩井段岩屑录井中,发现 5%~10%的岩屑有含油荧光显示,并在岩心的方解石晶洞中及裂隙方解石脉里也发现含油荧光显示。

2005年7月,在对明1井进行老井复查后,根据测录井天然气显示及电测解释气层的资料,又对 838.0~841.0 m(E₂xd)、475.0~481.0 m(E₂n)、381.0~384.0 m(E₃n)等三个层段进行了试气。测试结果第一层是“干层”、第二、三层均为“低产水层”,测试未获天然气层^④。

1981—1984年,地矿部门在宁明盆地钻探膨润土矿时,曾经有 10 口浅井发生天然气井喷。这些井都位于盆地中心的渐新统宁明组膨润土矿层分布区(图 7),天然气显示的井深由 8.73 m 至 480 m 不等,

以 350~480 m 之间居多。天然气显示的封盖层主要是宁明组的膨润土矿层。部分钻孔喷气时间较长,有的井至今二十多年,井口水池里仍有气泡冒出。

4.1 烃源岩的分布

宁明盆地主力烃源岩层是中始新统下大闸组大套灰褐色泥岩,其分布面积 79.68 km²,厚度为 80~480 m,一般厚 200 m(图 7),次级烃源岩层是上始新统上大闸组灰褐色泥岩,分布面积 145.05 km²,厚度 150~370 m,一般厚 250 m,显示了良好的烃源物质条件。

4.2 烃源岩有机质丰度

根据明 1 井的灰褐色泥岩岩心及岩屑样品的有机地球化学分析,下大闸组有机碳含量为 3.77%,氯仿沥青“A”为 0.170%,全烃(HC)含量为 510.85×10⁻⁶,生烃潜量(S₁+S₂)为 21.96 mg/g,有机质丰度高;上大闸组有机碳含量为 2.58%,氯仿沥青“A”为 0.135%,全烃(HC)含量为 301.09×10⁻⁶,生烃潜量(S₁+S₂)为 18.15 mg/g。宁明盆地下、上大闸组都达到陆相烃源岩有机质丰度“最好”的评价指标,这个盆地也是广西所有第三系盆地中烃源岩有机质丰度最高之一。

4.3 烃源岩有机质类型

干酪根元素组成 根据明1井烃源岩岩心样品干酪根镜检分析资料,下大闸组烃源岩中的H/C原子比为1.08~1.60,O/C原子比为0.12~0.13,干酪根类型以Ⅱ₁型为主,其次是Ⅰ型;上大闸组烃源岩中的H/C原子比为1.48~1.60,O/C原子比为0.12~0.16,在干酪根类型范氏图中,多数样品处于Ⅰ—Ⅱ₁型范围内(图8)。

干酪根显微组分 用明 1 井烃源岩岩心样品做了干酪根显微组分鉴定分析,显微组分以无定形为主,含量占 50%~70%,最高 75%;壳质组含量次之,大部分样品在 35%~45%之间;木质组少量,均在 3%以下。类型指数为 68.8~86.3,相对偏高。在 I_H—I_O关系图中,多数样品处于Ⅱ₁型范围(图 9)。

资料表明,下大闸组干酪根类型以Ⅱ₁型为主,其次是Ⅰ型;上大闸组为Ⅰ型,干酪根类型好。

④ 闭其云. 明 1 井试气施工总结[R]. 滇黔桂油田分公司广西石油天然气开发公司,2005.

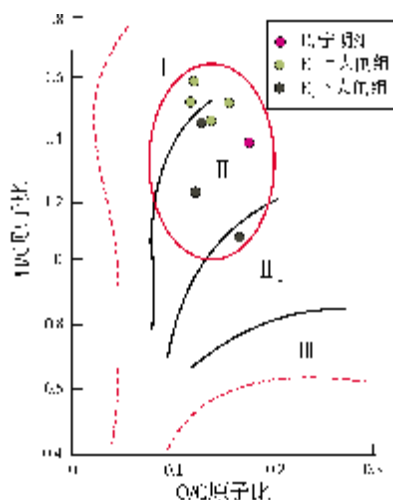
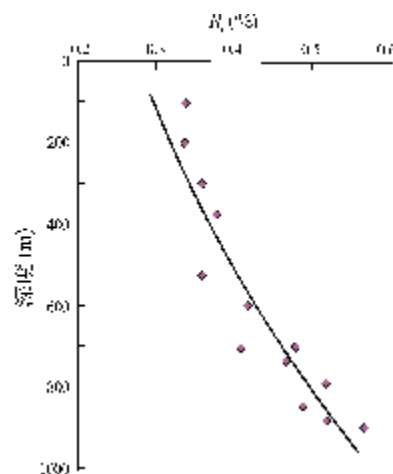
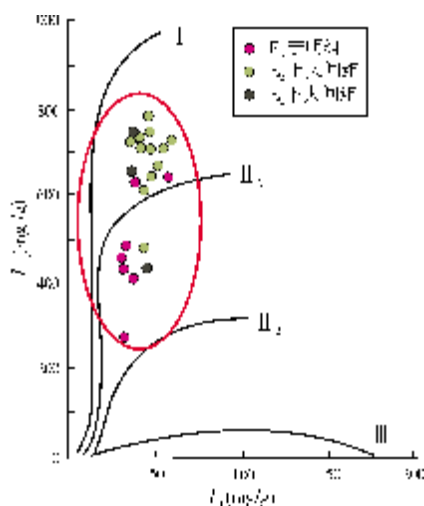


图8 宁明盆地宁1井烃源岩干酪根类型范氏图

图10 宁明盆地明1井烃源岩镜质体反射率(R_o)与深度关系图图9 宁明盆地明1井烃源岩氢、氧指数关系图
 I_H 氢指数(mg/g); I_O 氧指数(mg/g)

4.4 烃源岩有机质成熟度

明1井烃源岩干酪根中镜质体反射率 R_o 值随着深度而变化。在井底井深900 m处 R_o 为0.57%(图10)。由此认为,宁明盆地的勘探方向应该是烃源岩有机质在低熟阶段生成的生物甲烷气、未成熟油(重油)和凝析油。

4.5 天然气成分构成

从至今仍在冒气的膨润土探井中采集天然气样品进行成分分析,结果为:甲烷84.69%,乙烷0.01%,氮15.30%;干燥系数 $C_1/(C_2+C_3)=8469$, $C_1/C_n=0.9999$;密度等于0.558 6~0.618 1 kg/m³;天然气碳同位素值

$\delta^{13}C_1=-67.94\text{‰}$,氢同位素 $\delta D_1=-213.3\text{‰}$ 。显然,这些天然气是低成熟阶段生成的生物气^[11]。

5 盆地勘探潜力分析

现从已建成油气生产基地的百色盆地入手,结合合浦、南宁、宁明等盆地的油气资源勘探潜力进行分析。

5.1 百色盆地

百色盆地位于广西壮族自治区西部百色地区,横跨田东县、田阳县和百色市区,盆地面积 830 km²。盆地北断南超,是发育在三叠系褶皱基底上的第三系断陷残留盆地。第三系最大残留厚度约 3 500 m。盆地划分为东部拗陷(含田东凹陷、那笔凸起和头塘凹陷,共 526 km²)和西部拗陷(含三塘凸起和六塘凹陷,共 304 km²)两个二级构造和五个三级构造。

百色盆地基底为中生界三叠系中统(T_2)海相碎屑岩和碳酸盐岩,第三系陆相地层自下而上分别是古新统六咀组(E_{1l}),始新统洞均组(E_{2d})、那读组(E_{2n})、百岗组(E_{2b}),渐新统伏平组(E_{3f})、建都岭组(E_{3j}),上第三系长蛇岭组(Nch)(表1)。

百色盆地的石油勘探,从 1954 年至今的 50 多年间,已获石油总资源量 $7\,300\times 10^4$ t,石油探明储量 $1\,700\times 10^4$ t。现年产原油约 5×10^4 t,1993 年产量曾达 15×10^4 t。共发现了分布在东部拗陷的 7 个小油田(图1)。按油藏储存类型,有上法、花茶三叠系灰岩潜山油藏,仑圩、子寅、那坤、雷公始新统那读组砂岩

油藏,塘寨始新统百岗组砂岩油藏。此外还获得天然气资源量约 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$,发现了7个小气田。其中,分布在东部坳陷的有上法、祥周、塘寨、花茶、雷公等小气田,分布在西部坳陷的有江泽小气田,它们都属于始新统百岗组、渐新统伏平组砂岩浅层气藏。从埋藏深度来看,油藏是深层的,气藏是浅层的。除上法地区的油藏和气藏是独立存在外,其它的如雷公、塘寨、花茶均是叠合式油气藏。

百色盆地始新统那读组大套褐灰色泥岩是盆地的主力烃源岩。烃源岩有机质丰度不是很高,有机碳(TOC)平均含量仅1.28%,在四个盆地中是最低的;全烃含量为 $(243 \sim 297) \times 10^{-6}$,也是四个盆地中最低的;生烃潜量($S_1 + S_2$)为11 mg/g,仅比南宁盆地始新统古亭组(8.62 mg/g)、南湖组(7.84 mg/g)及合浦盆地常乐凹陷始新统酒席坑组(10.06 mg/g)的稍高,但比不上西场凹陷酒席坑组(24.90 mg/g)和宁明盆地始新统下大闸组(21.96 mg/g);有机质

干酪根类型以 II_1 型为主, I 型、 II_2 型次之,属“好”的烃源岩类型(表3)。

百色盆地的优势在于:

(1)那读组有一定质量的烃源岩体积,面积为 727 km^2 ,厚度80~623 m;

(2)可溶有机质氯仿沥青“A”达0.896%,是四个盆地中最高的,说明低熟烃类已经充分演化,进入成熟期;

(3)烃源岩有机质成熟度高,干酪根镜质体反射率 $R_o = 1.04\%$,已进入成熟高峰期。

(4)烃源岩的成岩性好,第三系平均岩石密度 2.50 g/cm^3 ;

百色盆地纵向上烃源岩层和储集层分布搭配合理,有灰岩潜山和砂岩断块等多种储油构造,生储盖组合好。正因为有诸多良好的石油地质条件,成就了百色盆地作为广西第三系盆地中至今勘探潜力“最好”的盆地(表3)。

表3 百色、合浦、南宁、宁明盆地烃源岩有机地球化学数据及油气资源勘探潜力一览表

盆地	层位	面积 (km^2)	厚度 (m)	TOC (%)	氯仿沥青 “A” (%)	HC ($\times 10^{-6}$)	$S_1 + S_2$ (mg/g)	R_o (%)	干酪根 类型	烃源岩 类型	油气资源 勘探潜力
百色盆地	那读组(E_2n)	727	80~623	1.28	0.8960	243~297	11.00	1.04	$\text{II}_1, \text{I}, \text{II}_2$	好	最好
合浦盆地	西场凹陷 酒席坑组(E_2j)	277	150~250	3.71	0.2515	827.76	24.90	0.60	II_1, I	最好	好
	常乐凹陷 酒席坑组(E_2j)	256	180~960	2.10	0.1138	406.64	10.60	1.20	II_2, II_1	最好	
南宁盆地	南湖组(E_2n)	342	50~250	1.49	0.1056	480.80	7.84	0.56	II_2	好	较好
	古亭组(E_2g)	402	100~450	2.00	0.1006	342.00	8.62	<0.60	II_1	好	
宁明盆地	上大闸组(E_2sd)	80	150~370	2.58	0.1350	301.09	18.15	<0.50	I	最好	好
	下大闸组(E_2xd)	145	80~480	3.77	0.1700	510.85	21.96	<0.60	II_1, I	最好	

5.2 合浦盆地

5.2.1 西场凹陷

西场凹陷的优势在于:

(1)有足够的烃源岩体积,面积 277 km^2 ,厚度150~250 m;

(2)烃源岩有机质丰度高, TOC 平均3.71%,接近百色盆地的三倍,全烃、生烃潜量、可溶有机质氯仿沥青“A”含量都是合浦、南宁、宁明三个盆地中最高的;

(3)有机质干酪根类型和百色盆地一样,以 II_1 型为主, I 型和 II_2 型次之,属最好烃源岩类型(表3);

(4)在探井中见到油气显示。

西场凹陷的劣势在于:

(1)烃源岩有机质成熟度低, R_o 仅0.6%,处在低熟阶段;

(2)成岩性较差,根据西参2井声波时差曲线换算的酒席坑组岩石密度仅 2.36 g/cm^3 ,明显比百色盆地(2.50 g/cm^3)低。

5.2.2 常乐凹陷

常乐凹陷的优势在于:

(1)烃源岩面积 256 km^2 ,厚960 m,根据地震资料解释基底最大埋深5100 m;

(2)烃源岩有机质丰度虽然稍比西场凹陷低,但 TOC 平均值2.10%,仍属“最好”烃源岩标准范围;

(3)推测4000~5000 m深处烃源岩有机质成熟度 R_o 达1.2%,热演化已经完全进入生烃高峰期。

常乐凹陷的劣势在于:

(1)全烃含量和生烃潜量都较低;

(2)有机质类型以 II₂ 型为主,II₁ 型次之。II₂ 型有机质以生气态烃为主。

综上所述,合浦盆地具有烃源岩厚度大,西场凹陷有机质丰度高、类型好,常乐凹陷埋藏深、热演化程度高等优势。盆地不但有较好的烃源基础,而且有较好砂岩储集层和构造圈闭,有生储盖组合、保存条件良好等石油地质条件。因此综合评价合浦盆地有“好”的油气资源勘探潜力(表 3)。

5.3 南宁盆地(北湖凹陷)

南宁盆地北湖凹陷石油地质条件的优势在于:

(1)有足够好的烃源物质条件,仅古亭组烃源岩面积就达 400 km²,厚度达 100~450 m;

(2)有机质丰度高, TOC 平均为 2.0%(百色盆地 TOC 为 1.28%);

(3)古亭组有机质类型为 II₁ 型,属于好的烃源岩类(表 3);

(4)在古亭组的砂岩层中发现固体沥青,说明有油气生成和储集过程。

南宁盆地北湖凹陷不利因素在于:

(1)在三塘—四塘地区所钻 6 口探地热(热水)井都钻穿了第三系,但在地质录井中没有发现油气显示;

(2)钻井揭示第三系成岩性差,古亭组—南湖组泥岩密度为 2.23~2.30 g/cm³。显然比百色盆地(2.50 g/cm³)低;

(3)成岩性差导致烃源岩有机质成熟度偏低;

(4)南宁盆地古亭组、南湖组烃源岩的(S₁+S₂)比百色盆地那读组烃源岩(11.00 mg/g)还低,是四个盆地中最低的。

总而言之,南宁盆地具有好的烃源岩层,有与之相匹配的砂岩储层;盆地西北侧有相当于百色盆地北部断阶含油带的断块构造;盆地基底有古生代碳酸盐岩潜山作为特殊储层;低熟阶段有机质可生成低熟油气。综合评价南宁盆地有“较好”的油气资源勘探潜力(表 3)。

5.4 宁明盆地

宁明盆地石油地质条件的优势在于:

(1)盆地有最优质的烃源岩,下大垌组面积达

145 km²,厚度达 80~360 m;

(2)TOC 评价为 3.77%,约是百色盆地(1.28%)的三倍,HC 含量为 510.85×10⁻⁶, (S₁+S₂)为 21.96 mg/g,几乎均是百色盆地的两倍;

(3)有机质类型为 II₁ 和 I 型,属于最好的烃源岩类型(表 3);

(4)11 口探膨润土浅井见天然气显示或井喷,明 1 井见天然气和含油荧光显示。

宁明盆地的劣势在于:

(1)有机质成熟度低,明 1 井成熟度 R_o 最大值为 0.57%,处在低熟阶段;

(2)宁明盆地中心的泥岩多,砂岩少,不像百色盆地那样砂岩和泥岩搭配合理,造成从生油层里排出的油气不能有效地进入砂岩储集层里,只能储存在泥岩的裂缝中(如在明 1 井和其他膨润土矿井中),所以很难形成有效的工业油气层,试气结果已可见一斑。

宁明盆地除有好的烃源条件外,在盆地北部和南侧还有一些相应的储层和储油构造相配置,所以认为宁明盆地还是具有“好”的油气资源勘探潜力(表 3)。

6 油气勘探研究进展

6.1 盆地优选

2005 年,在对云南、广西 60 多个面积大于 50 km² 的第三系盆地中首先优选出 6~8 个石油地质条件相对较好、有一定勘探潜力的盆地,开展石油基础条件和油气评价研究。然后对 6~8 个重点盆地进行资源量估算、盆地评价和优选排队,优选出 2~3 个下一步重点勘探盆地,并提出勘探部署方案。在评选中,广西南明盆地和南宁盆地分别列为第一位和第二位,首选为下一步重点油气勘探盆地^⑤(合浦盆地由于矿权问题未被列入优选范围)。

6.2 对盆地深入研究的认识

2008 年在对南宁、宁明等盆地的再次研究后认为^⑥:南宁盆地烃源岩有机质热演化程度低,烃源岩大多处于未成熟—低熟阶段,生烃潜力有限,盆地烃源岩以生成低熟生物气为主。宁明盆地第三系烃源岩有机质丰度达到了“好”和“最好”的生油岩标准。由于第三系埋藏浅,有机质热演化不高,盆地烃源岩以生成低熟生物气为主,但深凹深部的烃源岩仍有

⑤ 陈召全,邵昌民,等. 云南、广西外围第三系重点盆地含油气评价与勘探选区研究报告[R]. 中国石化南方分公司研究院, 2005.

⑥ 郑海,黄开创,等. 滇桂粤地区油气资源潜力评价与目标优选[R]. 中国石化西南油气分公司, 2008.

生成低熟油的能力,因此宁明盆地的勘探应以低熟油和低熟生物气为主要目标。

7 结 论

(1)广西百色、合浦、南宁、宁明四个盆地的主要烃源岩,一般为中始新统的深湖—半深湖相或海陆交互相暗色泥质岩。共同特点是分布面积广、厚度大、有机质丰度高。一般有机碳含量大于2.0%,氯仿沥青“A”值大于0.10%,全烃含量一般为 $(400\sim 500)\times 10^{-6}$,生烃潜量为20.0mg/g上下。有机质干酪根类型主要是II₁型,少量I型,属于“较好—最好”的烃源岩类型。

(2)不同盆地的烃源岩有机质成熟度差异较大。四个盆地的有机质成熟度多数处于低熟阶段($R_o=0.3\%\sim 0.7\%$),部分在成熟阶段($R_o=0.7\%\sim 1.2\%$)。合浦盆地的西场凹陷酒席坑组有机质丰度在几个盆地中最高,但有机质成熟度主要处在低熟阶段;常乐凹陷酒席坑组有机质丰度相对较低,但已进入成熟阶段的生烃高峰期。南宁盆地古亭组烃源岩成岩性差,有机质成熟度处于低熟阶段。宁明盆地具有下、上大闸组优质烃源岩,但处在低熟阶段。

(3)根据合浦、南宁、宁明等第三系盆地烃源岩有机地球化学特征和其他石油地质条件,综合分析认为,这三个盆地都具有一定的油气勘探潜力。合浦

盆地的西场凹陷、宁明盆地和南宁盆地都应以勘探低熟阶段生成的生物气和低熟油(重质油和凝析油)为主。合浦盆地的常乐凹陷应以勘探成熟阶段生成的成熟中质油气为主。

参 考 文 献

- [1] 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1985.
- [2] 刘洛夫,赵素平,杜振川,等. 百色盆地东部坳陷古近系那读组烃源岩的地质及地球化学特征[J]. 古地理学报,2005,7(1):113-124.
- [3] 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] 中国石油天然气行业标准. SY/T 5735-1995 陆相烃源岩地球化学评价方法[S]. 中国石油天然气总公司,1995.
- [5] 费琪. 成油体系分析与模拟[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2001.
- [6] 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.
- [7] 王铁冠,钟宁宁,侯读杰,等. 低熟油气形成机理与分析[M]. 北京:石油工业出版社,1995.
- [8] 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,(1-2):1-22.
- [9] 邓德贵,吴诒. 广西南宁盆地早第三纪沉积相特征[J]. 广西地质,1992,5(2):23-30.
- [10] 邝国敦,陈耿娇,陈运发,等. 广西南宁盆地第三纪地层研究的新进展[J]. 南方国土资源,2004,(11):47-49.
- [11] 王启军,陈建渝. 油气地球化学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1988.

编辑:赵国宪

Organic Geochemical Characteristics and Exploration Potential Analysis of Hydrocarbon Source Rocks in Hepu, Nanning, Ningming and Baise Basins, Guangxi Province

Shao Changmin, Zhao Bin

Abstract: There are over 30 Cenozoic basins in Guangxi province. The main source rocks in Hepu, Nanning and Ningning Basins among them, as that in Baise Basin where some industrial oil and gas fields have been discovered, are middle Eocene deep and semi-deep lacustrine dark argillaceous rocks, which is characterised by wide distributing area, large sedimentary thickness and high abundance of organic matter. It is shown that most of TOC values are over 2.0%, which reaches to the "good" and/or "excellent" source rocks in the Evaluation Criterion of Organic Matter Abundance for Continental Source Rocks. Most of organic matter are in low mature stage and parts of are in mature stage. Kerogen commonly belongs to Type II₁. Comprehensive analysis indicates that the former three basins possess of the foundation of good hydrocarbon-generating substance and also good conditions of accumulation and preservation so that they are of some oil and gas exploration potential. The organic matter is in low mature stage in Nanning Basin, Ningming Basin and Xichang Depression of Hepu Basin except for Changle Depression of Hepu Basin in mature stage. It is suggested that the exploration targets should focus on the basins or depression with the low maturity of organic matter.

Key words: Tertiary; Source rock; Organic Geochemical Characteristics; Exploration Potential; Hepu Basin; Nanning Basin; Ningming Basin; Baise Basin

Shao Changmin: male, Senior Geologist. Add: SINOPEC Southwest Oil Branch Company, Nanning, Guangxi, 530023 China