

文章编号: 1001-6112(2007)03-0301-06

珠江口盆地烃源岩有机显微组分 特征与生烃潜力分析

朱俊章, 施和生, 舒 誉, 杜家元, 吴建耀, 罗俊莲

(中国海洋石油总公司 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司 技术部, 广州 510240)

摘要:采用有机岩石学综合光学法研究了珠江口盆地古近系烃源岩的有机显微组分和亚显微组分特征,对典型烃源岩做了干酪根元素分析、岩石热解分析和高温高压泥岩热模拟实验,探讨了其生烃潜力和生烃属性。壳质组及富氢的壳镜组 A 含量较高,决定了中深湖相有机质的类型为 I—II₁ 型,具倾油性;低含氢的壳镜组 B 和镜质组含量较高,决定了滨浅湖相和沼泽相有机质的类型主要为 III—II₂ 型(II₁ 型为辅),具倾凝析油、气性;腐泥组和惰质组含量低。2 类烃源岩在不同演化阶段生烃属性均存在差异。这对进一步研究该盆地古近系不同凹(洼)陷有机相及勘探潜力和方向具有重要意义。

关键词:有机显微组分;生烃潜力;倾油倾气性;烃源岩;珠江口盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

ORGANIC MACERAL CHARACTERISTICS AND HYDROCARBON-GENERATING POTENTIALS OF SOURCE ROCKS IN THE PEARL RIVER MOUTH BASIN

Zhu Junzhang, Shi Hesheng, Shu Yu, Du Jiayuan, Wu Jianyao, Luo Junlian

(Technology Department, Shenzhen Branch Company, CNOOC China Ltd,
CNOOC, Guangzhou, Guangdong 510240, China)

Abstract: Organic maceral and sub-maceral characteristics of source rocks in Paleogene in the Pearl River Mouth Basin have been studied by means of compositive optics of organic petrology. It is also discussed the hydrocarbon generating potentials and features by element analyses on kerogen, rock-eval analyses and high temperature and pressure simulation on source rocks. Relatively abundant exinite and exinite-vitrinite A rich in hydrogen result in oil-prone type I—II₁ of organic matter in medium-deep lacustrine facies. Relatively abundant exinite-vitrinite B pool in hydrogen and vitrinite result in gas and condensate-prone type III—II₂ of organic matter in shore-shallow lacustrine and swamp facies. Sapro-pelinite and inertinite contents are low. The two types of source rocks have different hydrocarbon-generating features in various phases. Those conclusions are important for the further studies of organic facies and exploration potential and prospect in different depressions (sags) in the basin.

Key words: organic maceral; hydrocarbon-generating potential; oil and gas affinity; source rock; the Pearl River Mouth Basin

有机岩石学是在煤岩学和孢粉学基础上发展起来的一门学科,在油气勘探和评价中已成为一种重要的研究手段^[1,2]。显微组分“maceral”已广泛应用于烃源岩中在光学显微镜下可识别的集中及分散的有机成分,以表征沉积有机质显微组成的高

度非均质性^[3,4]。显微组分的成因、特征和分类是有机岩石学的基础内容。用于描述显微组分的方法大多可以归纳为 2 个不同的分类体系:一个体系出自孢粉学家之手,用透射光研究显微组分的富集物——干酪根,以 Burgess 提出的五分法方案(无

收稿日期: 2006-05-25; 修订日期: 2007-04-10。

作者简介: 朱俊章(1965—),男(汉族),湖北荆州人,硕士,高级工程师,主要从事石油地质与油气地球化学研究。

基金项目: 中国海洋石油总公司综合科研项目[海油科字(2004)37 号]。

定型、藻质、草本质、木本质、煤质)影响最大^[5];另一个分类体系出自煤岩学家之手,以 Teichmuller 为代表,主要用反射白光和荧光观察全岩样品,保持显微组分的三分性(壳质组、镜质组、惰质组),另外增加了动物有机碎屑和矿物沥青基质 2 个组分^[6]。

有关烃源岩生烃潜力与生烃属性的研究方法主要包括有机岩石学方法、可溶有机质氯仿沥青“A”和总烃浓度绝对定量法、岩石热解残余有机碳(TOC)与生烃潜力法、荧光强度法、开放体系热解—色谱法和高温高压热模拟实验法等。

本文采用透射光、反射白光、荧光相结合的综合光学法,分析了珠江口盆地古近系不同沉积相烃源岩样品(中深湖相、滨浅湖相、湖沼相、三角洲平原沼泽相等)的有机显微组分和亚显微组分特征;对典型烃源岩做了干酪根元素分析、岩石热解分析和高温高压泥岩热模拟,探讨了其有机质类型、生烃潜力和生烃属性。这对进一步研究该盆地古近系不同凹(洼)陷有机相及勘探潜力和方向具有重要意义。

1 地质背景

珠江口盆地位于南海北部、华南大陆的南缘,呈 NE 走向,大致平行华南大陆岸线的陆架和陆坡区,它是华南大陆的水下延伸部分^[7](图 1)。珠江口盆地主要由北部隆起带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带组成。盆地古近纪经历了断陷阶段和坳陷阶段,烃源岩包括始新统文昌组(E₂₋₃w)中深湖相和浅湖相烃源岩、始新统一下渐新统恩平组(E₃e)河流相、湖沼相和浅湖相烃源岩以及上渐新统珠海组(E₃z)海陆过渡相烃源岩。

陈长民等^[7]通过对珠江口盆地第三系生油岩

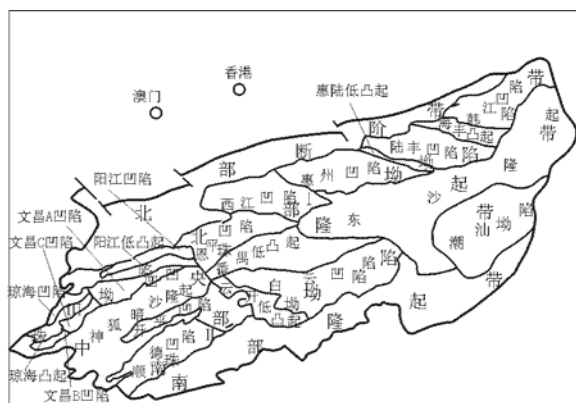


图 1 珠江口盆地构造分区

Fig. 1 Tectonic division of the Pearl River Mouth Basin

有机岩石学研究,认为其生油组分为腐泥组+壳质组+镜质组+超微类脂体。张水昌等^[8]开展了珠江口盆地东部油源研究,认为珠江口盆地发育 2 套烃源岩:一套是文昌组湖相泥岩,另一套是恩平组湖沼相含煤泥岩。2 套烃源岩的丰度、类型及演化程度在不同凹陷/洼陷都各不相同。文昌组生油岩总体上分布比较普遍,有限的分析数据表明,LF13 洼文昌组有机质丰度值最高,类型最好(II₁),成熟度适中,生烃潜力最大;恩平组生油岩有机质丰度高,有机质类型以 II₂ 型为主,少部分为 II₁ 型。

由于珠江口盆地绝大部分井均位于隆(凸)起带和坳(凹)陷内构造高部位,并没有揭示坳(凹)陷内真正的烃源岩,因而所得结论带有片面性。只有对目前钻井所揭示的不同沉积相烃源岩进行仔细研究,结合地震相和层序地层学研究成果,借助盆地模拟软件,才能真正认识珠江口盆地有机相。

2 样品与实验

2.1 样品

本文研究中所涉及的样品包括泥岩、碳质泥岩和煤样,共 22 个,取样井位具体如下:惠州凹陷 HZ08—1—1, HZ23—1—1, HZ21—1—1, HZ32—3—1, XJ24—3—1AX, LF13—2—1, HZ10—1—1 共 7 口井;西江凹陷 XJ33—2—1A 井;恩平凹陷 EP17—3—1 井;白云凹陷 PY33—1—1 井;文昌 C 凹陷 WC19—1—3 井。

2.2 实验

2.2.1 有机岩石学分析

岩石样品粉碎至 20~40 目,经盐酸和氢氟酸处理,富集有机质,将湿样制备薄片,在透射光下进行组分鉴定及显微照相;将冷冻烘干样制备光片,在反射光(白光和荧光)下进行组分鉴定和显微照相。

鉴定步骤:1)在 800 倍油浸反射光(白光和荧光)下仔细观察、对比,鉴定区分各种不同的有机显微组分并照相;2)用压点法定量测试,在机器台上按点距 0.1 mm,行距 0.2 mm,以目镜十字丝中心压的组分统计,求出总点数及各组分的百分含量。

2.2.2 岩石热解分析

岩石样品粉碎至 60~80 目,在 Rock-Eval III 型仪器上做热解分析。升温程序为:加热至 90 °C 恒温 2 min 得 S₀;加热至 300 °C 恒温 3 min 得 S₁;加热至 600 °C 得 S₂;在 600 °C 加热氧化 5 min 得 S₄。

2.2.3 高温高压热模拟实验

泥岩样品高温高压加水封闭式模拟实验温度

分别为 200, 250, 275, 300, 325, 350, 400, 500 °C; 加水 5~12 mL, 水的 pH 值为 3~6; 岩样重量为 50~120 g。实验结果得到气体量、凝析油量、轻油量和残余油量。

热模拟实验得到的气体采用 HP6890Plus 四阀五柱型天然气专用分析仪进行分析, 分析方法标准名称代号为 GB/T 13610—2003。

3 结果与讨论

3.1 有机显微组分分类及岩石学特征

岩石样品综合光学法分析结果表明, 本区生源物质共有 5 大类: 1) 低等生物或其生物腐泥化作用的产物——腐泥组; 2) 来源于高等植物的含类脂丰富、化学性质稳定的壳质组; 3) 高等植物的木质纤维组织经凝胶化作用的产物——镜质组; 4) 高等植物的木质纤维组织经氧化作用的残余物——惰质组; 5) 镜质组中含有较多腐泥组和壳质组的混合物——壳镜组。根据壳镜组混生情况, 结合荧光强度, 划分出 5 种显微组分, 即壳镜组 A、无定型体 III、壳镜组 B、无定型体 IV 和荧光镜质组。

由于不同的生源物都可以形成无定型, 而产烃潜能差异很大, 本次分类考虑了原始母质及产烃的能力, 分别将藻类及低等生物降解的无定型 I 划入腐泥组; 陆生植物的类脂物及分泌物降解的无定型 II 划入壳质组; 陆生植物的木质纤维组织和壳质组、藻类等的混合物降解的无定型 III, IV 划入镜质组。

3.1.1 腐泥组

藻质体: 包括单细胞藻和群体藻, 根据细胞结构和形态特征可进一步确定藻的生物种属。主要见有绿藻类、沟鞭藻类、疑源类等。其特征是具各种各样的外形和饰纹。

无定型体 I: 主要是藻类降解产物, 呈絮状、云雾状, 无固定外形, 具较强的荧光, 可见到原细胞结构的痕迹。

3.1.2 壳质组

树脂体: 植物的树脂、树腊等分泌物, 为大小不一的圆形、椭圆形、长条形等不规则形状的单体或集合体, 常充填于镜质体等组织的胞腔中。

荧光质体: 反射光下外观与粘土矿物相似, 常赋存在带角质体镶边的叶镜体中, 形状为细小的透镜状, 荧光性极强。

孢粉体: 包括陆生、水生木本和草本的孢子、花粉。形态各异, 为圆形、扁环形、三角形等, 外壁具各种各样的饰纹。

角质体: 为植物的根、茎、叶外层的表皮细胞组织, 外缘平滑, 内缘具不同形状的锯齿状、浪纹状, 末端折曲处带尖角状折曲。

木栓体: 来源于高等植物木栓化的组织细胞, 具明显细胞壁和细胞腔结构, 常呈叠瓦状和鳞片状。

菌类体: 高等植物内部寄生着真菌类, 源岩中保存了菌类繁殖器官, 即菌核、菌孢子及与高等植物根部组织共生真菌形成的菌根。菌核呈圆形、椭圆形, 具网状结构; 菌孢子呈椭圆状, 具不同数目的胞腔; 菌根呈花环状。

壳屑体: 类脂组的细屑颗粒, 无法辨认其源物质。

无定型体 II: 主要是陆生和水生生物类脂物质的降解产物。具细粒状结构, 无固定形态。

渗出体: 各种类脂物质在演化过程中的次生产物。

3.1.3 壳镜组

壳镜组 A: 镜质组中类脂物质等含量大于 30%, 其降解产物称为腐殖腐泥体。

壳镜组 B: 镜质组中类脂物质等含量低, 其降解产物称为腐泥腐殖体。

无定型体 III 和 IV: 主要是高等植物的类脂物质和腐殖物质的降解物。具纤维状结构。

3.1.4 镜质组

分为结构镜质体、无结构镜质体、镜屑体和腐殖基质体。

3.1.5 惰质体

丝质体: 呈各种形状, 表面具有细胞腔和细胞结构的残余。

半丝质体: 为丝质体和结构镜质体的过渡类型, 细胞结构因受细胞壁膨胀影响, 细胞腔多压缩变小。

惰屑体: 完全辨认不出细胞结构的碎片。

3.2 不同沉积相烃源岩有机显微组分特征

本次研究的 22 个样品的有机显微组分的定量分析结果如表 1 所示。对不同沉积相(碳质)泥岩有机显微组分做了均值计算, 其分布如图 2 所示。从表 1 和图 2 可见, 珠江口盆地古近系不同沉积相(碳质)泥岩有机显微组分具有如下特征:

中深湖相烃源岩腐泥组+壳质组含量较高, 平均值为 13.95%; 滨浅湖相和沼泽相含量低, 平均值为 3.57%~4.28%。中深湖相烃源岩中富含腐泥组+壳质组的壳镜组 A 含量高, 平均值为 43.66%; 滨浅湖相和沼泽相含量低, 平均值为 2.31%~3.84%。

表 1 珠江口盆地不同沉积相烃源岩有机显微组成

Table 1 Organic macerals data of source rocks in different deposition facies in the Pearl River Mouth Basin

沉积相	井号	层位	岩性	R _o , %	腐泥组, %	壳质组, %	壳镜组 A, %	壳镜组 B, %	镜质组, %	惰质组, %
中深湖	WC19—1—3	E _{2w}	泥岩	0.54	3.52	17.03	59.85	5.31	14.09	0.20
	WC19—1—3	E _{2w}	煤	0.54	0.36	3.43	50.38	12.25	33.19	0.36
	LF13—2—1	E _{2w}	泥岩	0.55	0.74	6.60	27.47	51.84	13.18	0.37
滨浅湖	HZ08—1—1	E _{2-3e}	碳质泥岩	0.79	0	5.40	0.60	37.40	56.00	0.80
	HZ23—1—1	E _{2-3e}	泥岩	0.78	0	2.29	4.66	65.78	26.30	0.97
	HZ23—1—1	E _{2-3e}	泥岩	0.66	0	2.17	0	65.68	30.81	1.34
	XJ24—3—1AX	E _{2w}	泥岩	0.93	0	4.26	0.87	34.43	59.86	0.58
	XJ24—3—1AX	E _{2w}	碳质泥岩	0.93	0	4.27	0	41.92	46.99	1.82
	EP17—3—1	E _{2w}	泥岩	0.72	0	3.00	8.44	62.31	21.81	4.44
湖沼	XJ33—2—1A	E _{2-3e}	泥岩	0.62	0.32	6.15	4.42	54.01	34.25	0.85
	XJ33—2—1A	E _{2-3e}	泥岩	0.71	0	0.77	0.19	49.14	48.34	1.56
三角洲平原沼泽或间湾	HZ32—3—1	E _{3z}	煤	0.50	0	10.00	30.41	38.95	20.17	0.47
	HZ10—1—1	E _{3z}	泥岩	0.52	0.62	4.50	14.31	52.96	25.06	2.57
	HZ08—1—1	E _{2-3e}	碳质泥岩	0.79	0	5.40	0.60	37.40	56.00	0.80
	HZ08—1—1	E _{3z}	煤	0.54	0	1.70	37.82	39.61	20.79	0.25
	XJ24—3—1AX	E _{2-3e}	煤	0.55	0	3.58	0	9.28	86.96	0.18
	XJ24—3—1AX	E _{2-3e}	泥岩	0.59	0.23	3.91	11.98	59.67	23.18	1.03
	PY33—1—1	E _{2-3e}	泥岩	0.64	3.70	5.84	0	64.94	19.67	5.85
	PY33—1—1	E _{2-3e}	泥岩	0.86	0.58	1.16	0	74.47	21.66	2.13
	PY33—1—1	E _{2-3e}	碳质泥岩	0.97	0	0.57	0	15.72	82.39	1.33
	PY33—1—1	E _{2-3e}	煤	0.99	0	0.19	0.77	10.62	87.46	0.96
PY33—1—1	E _{2-3e}	泥岩	1.54	3.27	0.19	0	0	95.38	1.10	

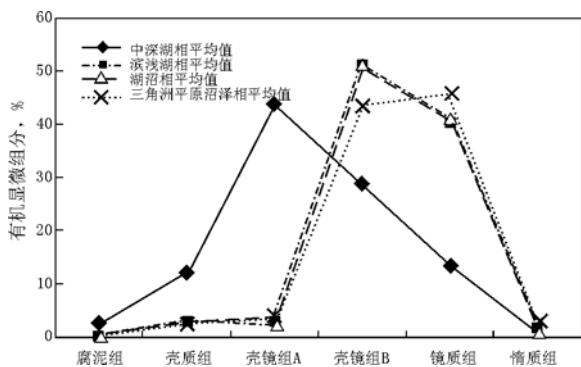


图 2 珠江口盆地不同沉积相(碳质)泥岩有机显微组成对比

Fig. 2 Comparison of organic macerals of (carbonate) mudstones in different deposition facies in the Pearl River Mouth Basin

中深湖相烃源岩中低含腐泥组+壳质组的壳镜组 B 含量较低,平均值为 28.57%;滨浅湖相和沼泽相含量高,平均值为 43.59%~51.58%。比较而

言,镜质组含量不高,一般在 20%~40%左右;惰质组含量低,基本上都小于 2%。

不同层位的 4 个煤样有机显微组分数据(图 3)表明,始新统文昌组煤样腐泥组+壳质组+壳镜组 A 含量较高,为 54.17%;上渐新统珠海组中等,为 39.52%和 40.41%;始新统一下渐新统恩平组含量低,为 2.27%。比较而言,文昌组和珠海组煤样镜质组含量较低,分别为 12.25%和 20.17%~20.79%;恩平组煤样镜质组含量高,为 87.21%。

3.3 典型烃源岩元素分析与热解生烃潜力

为进一步评价烃源岩有机质的类型和生烃潜力,对不同沉积相的 8 个(碳质)泥岩样品做了干酪根元素分析和岩石热解分析,其参数如表 2 所示。

由表 2 可见,中深湖相烃源岩中干酪根 H/C 和 O/C 元素比分别为 0.95~1.53 和 0.08~0.14;岩石热解降解率(D)和氢指数(I_H)分别为 31.89%~52.46%和 384~632 mg/g,有机质类型为 I-II₁

型。滨浅湖相和沼泽相烃源岩中干酪根 H/C 和 O/C 元素比分别为 0.60~0.87 和 0.05~0.15; 岩石热解降解率和氢指数分别为 4.83%~35.63% 和 58~429 mg/g。有机质类型大多为 III-II₂ 型 (II₁ 型为辅)。

综合烃源岩有机显微组分特征以及干酪根元素分析和岩石热解分析的结果, 壳质组及富含腐泥组+壳质组的壳质组 A 含量较高, 决定了中深湖相有机质的类型为 I-II₁ 型, 岩石热解降解率和氢指数高, 生烃潜力较大, 具倾油性; 低含腐泥组+壳质组的壳质组 B 和镜质组含量较高, 决定了滨浅湖相和沼泽相有机质的类型主要为 III-II₂ 型 (II₁ 型为辅), 岩石热解降解率和氢指数较低, 生油潜力相对较小, 具倾凝析油、气性; 腐泥组+惰质组含量低。

3.4 典型烃源岩热模拟生烃特征分析

不同类型的烃源岩生烃潜力和生排烃过程不同^[9~11]。为进一步研究中深湖相、滨浅湖相和沼泽相烃源岩的生烃潜力和生烃特征, 挑选了

LF13-2-1 井文昌组中深湖相泥岩 (I-II₁ 型, TOC 为 2.02%) 和 HZ08-1-1 井恩平组滨浅湖相泥岩 (II₂ 型, TOC 为 2.32%) 做高温高压加水生烃热模拟实验。

由图 4 可见, 其生油规律为: LF13-2-1 井文昌组中深湖相泥岩在各个不同演化阶段总生油率约为 HZ08-1-1 井恩平组滨浅湖相泥岩的 2 倍; LF13-2-1 井文昌组中深湖相泥岩的生油高峰在 275~325 °C 左右 (R₀ 为 0.83%~1.09%), 主生烃期较短; HZ08-1-1 井恩平组滨浅湖相泥岩的生油高峰在 250~275 °C 左右 (R₀ 为 0.70%~0.83%), 主生烃期较长; LF13-2-1 井文昌组中深湖相泥岩在较低成熟阶段产凝析油率明显比 HZ08-1-1 井恩平组滨浅湖相泥岩低。

由图 5 可见, 其生气规律为: LF13-2-1 井文昌组中深湖相泥岩在各个不同演化阶段产气率均比 HZ08-1-1 井恩平组滨浅湖相泥岩低, 在油窗范围约为 1/2; 2 类泥岩样品的总产气率 (若有机质全部转化为燃气) 相近。

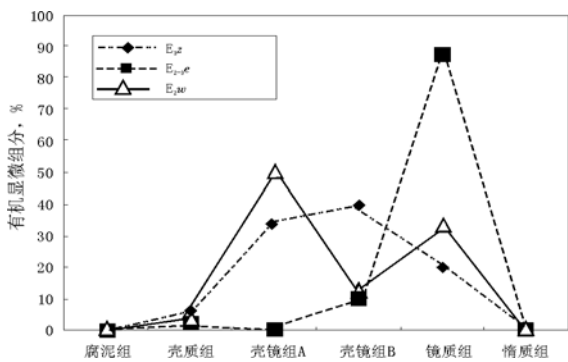


图 3 珠江口盆地不同层位煤样有机显微组对比

Fig. 3 Comparison of organic macerals of coal samples from different strata in the Pearl River Mouth Basin

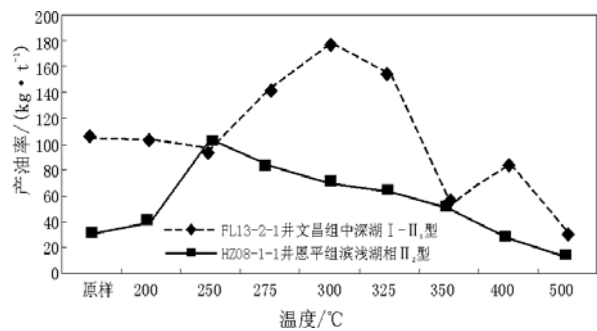


图 4 珠江口盆地 LF13-2-1 井文昌组和 HZ08-1-1 井恩平组泥岩产油率对比

Fig. 4 Comparison of oil-generating ratios of mud samples in Well LF13-2-1 (E_{2w}) and HZ08-1-1 (E_{2-3e})

表 2 珠江口盆地不同沉积相烃源岩元素和热解参数

Table 2 Element and rock-eval parameters data of source rocks in different deposition facies in the Pearl River Mouth Basin

沉积相	井号	层位	岩性	H/C	O/C	类型	D, %	I _H /(mg·g ⁻¹)	类型
中深湖	LF13-2-1	E _{2w}	泥岩	1.53	0.11	I	44.45	533	II ₁
	WC19-1-3	E _{2w}	泥岩	1.24	0.08	II ₁	52.46	632	I
	WC19-1-3	E _{2w}	煤	0.95	0.14	II ₁	31.89	384	II ₁
滨浅湖	HZ08-1-1	E _{2-3e}	碳质泥岩	0.87	0.10	II ₂	35.63	429	II ₁
	EP17-3-1	E _{2w}	泥岩	0.83	0.14	II ₂	21.81	264	II ₁
	XJ33-2-1A	E _{2-3e}	泥岩	0.84	0.15	II ₂	21.00	253	II ₂
沼泽	PY33-1-1	E _{2-3e}	碳质泥岩	0.68	0.05	III	6.39	160	III
	PY33-1-1	E _{2-3e}	泥岩	0.60	0.11	III	4.83	58	III

