

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2012.01099

华南陆缘中生界烃源岩条件评价

张莉¹, 耿安松², 王嘹亮¹, 廖玉宏², 徐国强³, 韦振权¹

(1 国土资源部 广州海洋地质调查局, 广州 510760; 2 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 3 成都理工大学, 成都 610059)

摘要: 华南陆缘出露的上三叠统-白垩系, 累计厚度超过 10 000 m, 露头调查未见油苗, 烃源岩主要为泥岩、碳质泥岩和煤线, 有机质类型以 II-III 型为主。上三叠统小水组, 发育较深水的海相、II 型良好烃源岩, TOC 为 1.17%~5.43%; 下侏罗统桥源组发育海陆过渡环境的 III 型良好烃源岩, TOC 为 1.36%~10.37%; 下侏罗统其他层系(金鸡组、银瓶山组、上龙水组、长埔组、吉水门组)发育浅海-半深海相的中等-好的烃源岩, TOC 为 0.5%~1.76%。烃源岩均已处于成熟-过成熟阶段。小水组、蓝塘群烃源岩品质良好, 厚度巨大, 在南海北部海域开展中生界烃源岩研究时, 值得重点关注是否有与之相当的烃源岩层系发育。

关键词: 烃源岩; 华南陆缘; 中生界

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2012)01-0099-10

众多研究显示, 印支运动导致华南陆缘出现大规模海退, 陆区缺失下-中三叠统, 而广泛出露的上三叠统-白垩系, 累计厚度超过 10 000 m^[1-5]。晚三叠世开始的、主要来自东南方向的大规模海侵, 使华南陆缘粤东、粤中地区晚三叠世-早侏罗世广泛沉积了一套厚度较大的海陆过渡相-半深海相地层, 其向南可一直延伸至现代南海北部海域, 陆区地层与海域地层具有一定的可比性; 早侏罗世晚期开始海退, 受早侏罗世末燕山运动影响华南大部强烈上隆, 华南陆缘逐渐转变为以陆相环境为主; 中侏罗世海水全部退出华南仅东南部局部发育湖泊、河流相沉积, 而向南海北部海域则逐步演变为以海陆过渡相、海相沉积环境为主; 晚侏罗世继承中侏罗世格局, 华南陆缘主体仍然处于隆升状态, 多缺失上侏罗统, 海域则保持以海相沉积环境为主。

1 烃源岩样品采集

华南陆缘中生界典型露头剖面烃源岩样品主要取自: 上三叠统小水组和小坪组, 下侏罗统银瓶山组、上龙水组、长埔组、吉水门组、桥源组和金鸡组, 以及中侏罗统塘厦组(图 1, 表 1)。岩性主要为泥岩、炭质泥岩和煤线(图 2)。黑色泥页岩发育层位多, 累计厚度大。

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价专项(XQ-2007-03)

作者简介: 张莉(1965—), 女, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事海洋油气地质调查与研究, E-mail: zhangli20cn@21cn.com

收稿日期: 2011-09-13; 改回日期: 2011-12-15。 周立君编辑

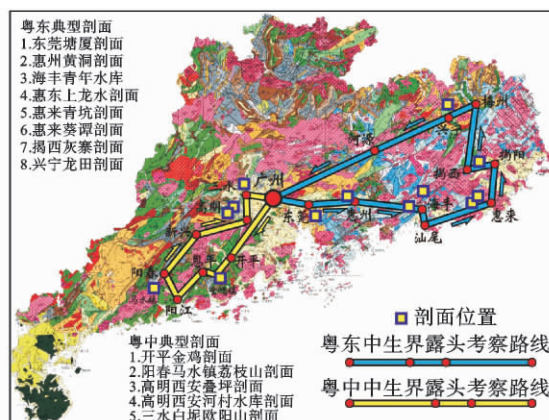


图 1 华南陆缘中生界典型露头剖面位置

Fig. 1 Location map of Mesozoic outcrops and sections around the margin of South China continent

总体上, 粤东地区小水组、金鸡组、银瓶山组、上龙水组、长埔组、吉水门组、桥源组都发育有灰色-黑色泥岩、炭质泥岩、煤线(薄煤层), 泥岩的累计厚度较大, 生烃条件良好; 而粤中地区小坪组、金鸡组和桥源组也发育有较良好的烃源岩, 但与粤东地区相比, 其黑色泥岩的分布范围及累计厚度都偏小, 生烃条件变差。

2 烃源岩有机碳丰度及有机质类型

通过对所有采集到的 64 个烃源岩样品进行岩石热解(Rock-Eval VI)和总有机碳(碳硫仪)分析, 同时, 选取部分烃源岩样品进行氯仿抽提(72 h), 可抽提物(氯仿沥青“A”)的测试分析。从分析结果(表 2)来看, 华南陆缘区采集到的样品有机碳含量并

表 1 华南陆缘中生代地层序列(据广东省区域地质志修编)

Table 1 Mesozoic stratigraphic sequences around the margin of South China continent

地层系统		粤东-粤中地区		典型剖面	
中生界	白垩系	上统	叶塘组	兴宁叶塘	
			优胜组		
		下统	合水组		
	侏罗系	中统	塘厦组		东莞塘厦
		下统	桥源组	第 3 段	葵谭西岭
				第 1-2 段	惠来葵谭
			蓝塘群/金鸡组	青坑村组	惠来青坑
				吉水门组	海丰青年水库、开平金鸡
				长埔组	
				上龙水组	
银瓶山组					
三叠系	上统	头木冲组	揭西灰寨		
良口群/小坪组	小水组				
	红卫坑组				

不低,但游离烃 S1 和热解烃 S2 值、氢指数值(HI)却非常低,氯仿沥青“A”含量也非常低,基本处于

ppm 级的含量,这可能与华南陆缘区经历了强烈的构造和火山活动,烃源岩的成熟度较高,并且露头样品经历了较强的风化淋滤作用,导致烃源岩的可溶有机质损失殆尽有关。

2.1 上三叠统

晚三叠世开始的大规模海侵主要来自东南方向,华南陆缘粤东-粤中地区主要沉积了一套厚度较大的海陆过渡相-滨、浅海相地层^[4]。上三叠统小水组 6 个黑色泥岩样品显示了比较高的残余 TOC 含量,该组在揭西灰寨剖面出露有 20 m,泥岩残余 TOC 值分布范围 0.49%~2.28%,有机质类型为 II B 型。小坪组发育的烃源岩兼有泥岩和煤线,有机质类型为 III 型,高明西安叠坪剖面凤岗段 4 个泥岩样品残余 TOC 为 0.3%~2.03%,马安段 1 个泥岩样品残余 TOC 为 0.19%,而马安段 2 个煤线样品残余 TOC 为 12.2%~17.7%。

2.2 下侏罗统

早侏罗世海侵范围进一步扩大,华南陆缘海相地层分布范围进一步向东北、西南部扩大,粤东-粤

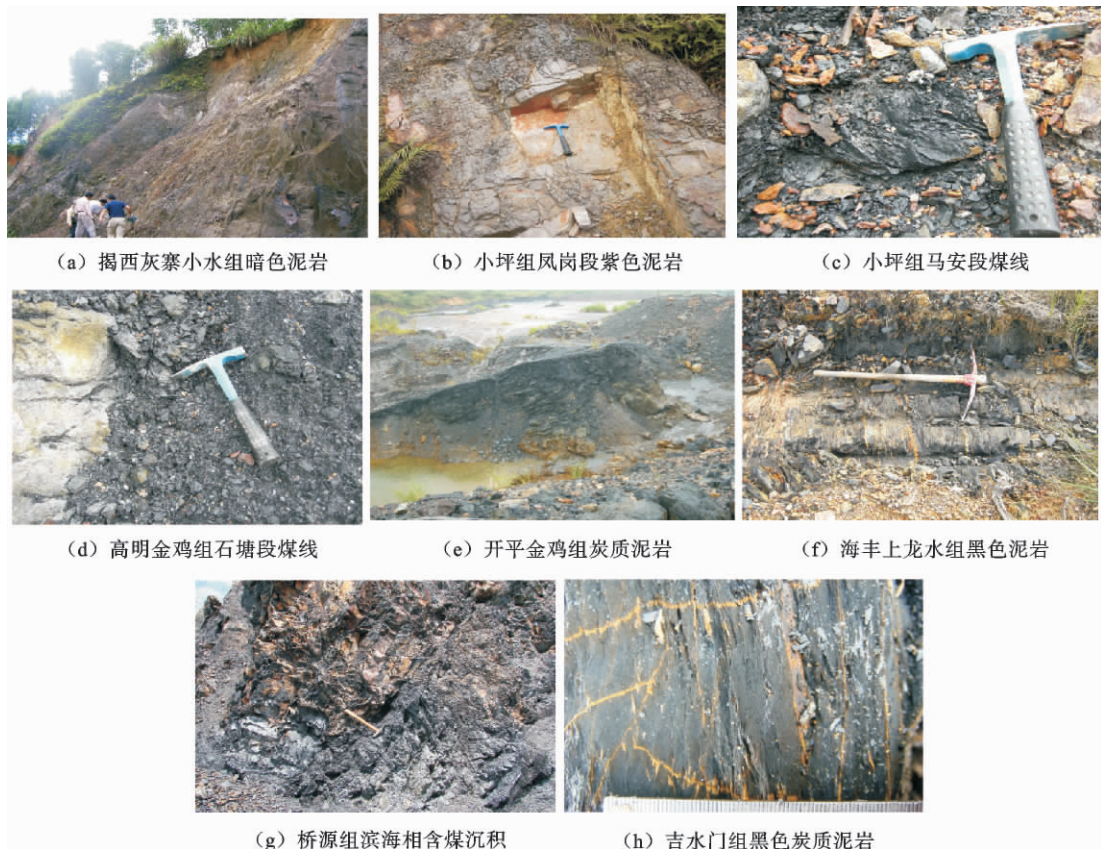


图 2 华南陆缘中生界烃源岩典型露头照片

Fig. 2 Typical outcrop photos of Mesozoic source rocks around the margin of South China continent

表 2 华南陆缘中生界烃源岩岩石热解分析、总有机碳和氯仿沥青“A”分析数据
Table 2 Rock-Eval, TOC and chloroform bitumen “A” in Mesozoic source rocks around the margin of South China continent

地层层位	样品号	有机碳 TOC/%	最高热解 温度 Tmax/°C	游离烃 S1/(mg/g)	热解烃 S2/(mg/g)	产烃潜力 S1+S2/ (mg/g)	产率指 数 PI	氢指数 HI/(mg/g TOC)	有效碳 PC/%	降解率 PC/TOC/%	烃指数 SI/TOC (mg/g TOC)	氯仿沥青 “A”
塘厦组	TX J ₂ t87-2	0.34	381	0.02	0.02	0.04	0.5	6	0.003	0.980	5.880	
	TX J ₂ t87-3	0.82	396	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.200	1.220	0.032 4
	TX J ₂ t87-4	0.47	393	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.350	2.130	
	TX J ₂ t83-1	0.15	368	0.01	0.01	0.02	0.5	7	0.002	1.110	6.670	
桥源组	HLLKT J ₁ qy ² -34-1	6.10	432	0.01	0.01	0.02	0.5	0	0.002	0.030	0.160	0.004 2
	HLLKT J ₁ qy ² -34-2	1.27	494	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.130	0.790	
	HLLKT J ₁ qy ² -34-1-2	1.71	421	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.100	0.580	0.003 6
	HLLKT J ₁ qy ² -48-1	3.87	442	0.01	0.01	0.02	0.5	0	0.002	0.040	0.260	0.009 4
	HLLKT J ₁ qy ² -48-2	2.69	491	0.01	0.01	0.02	0.5	0	0.002	0.060	0.370	0.004 0
	HLLKT J ₁ qy ² -48-3	0.80	501	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.210	1.250	
	HLLKT J ₁ qy ³	4.71	477	0.01	0.01	0.02	0.5	0	0.002	0.040	0.210	0.005 6
	HLLKT J ₁ qy ² -24	1.08	493	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.150	0.930	
	OYS J ₁ qy-1	6.87	480	0.02	2.88	2.90	0.01	45	0.260	0.040	0.309	0.024 0
	OYS J ₁ qy-2	1.34	518	0.01	0.20	0.21	0.03	17	0.020	0.017	0.840	
OYS J ₁ qy-3	12.00	493	0.13	3.56	3.69	0.04	34	0.330	0.031	1.230		
吉水门组	HFQNSHK J ₁ sh70-1	0.32	451	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.520	3.130	0.002 3
	HFQNSHK J ₁ ch65	0.36	462	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.460	2.780	0.002 1
长埔组	HFQNSHK J ₁ ch50-1	0.45	440	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.370	2.220	
	HFQNSHK J ₁ ch50-2	0.41	453	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.400	2.440	0.002 2
	HFQNSHK J ₁ ch48	0.46	452	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.360	2.170	0.002 2
	HFQNSHK J ₁ sh29	0.31	468	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.54	3.23	
	HFQNSHK J ₁ sh28	0.34	432	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.49	2.94	0.004 1
	HFQNSHK J ₁ sh16-1	0.25	436	0.01	0.01	0.02	0.5	4	0.002	0.66	4.00	
上龙水组	HFQNSHK J ₁ sh16-2	0.63	425	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.26	1.59	
	HFQNSHK J ₁ sh16-3	0.41	437	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.40	2.44	
	HFQNSHK J ₁ sh16-4	0.55	410	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.30	1.82	0.001 3
	HFQNSHK J ₁ sh16-5	0.54	428	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.31	1.85	
	HFQNSHK J ₁ sh16-6	0.72	413	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.23	1.39	0.001 6
	HFQNSHK J ₁ sh16-7	0.54	424	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.31	1.85	
	HFQNSHK J ₁ sh16-8	0.46	424	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.36	2.17	
	HFQNSHK J ₁ sh16-9	0.36	452	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.46	2.78	
HFQNSHK J ₁ sh16-10	0.39	420	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.43	2.56	0.002 0	

续表 2

地层单位	样品号	有机碳 TOC/%	最高热解 温度 Tmax/°C	游离烃 SI/(mg/g)	热解烃 S2/(mg/g)	产烃潜量 SI+S2/ (mg/g)	产率指 数 PI	氢指数 HI/(mg/g· TOC)	有效碳 PC/%	降解率 PC/TOC/%	烃指数 SI/TOC (mg/g·TOC)	氯仿沥青 “A”
	HFQNSHK J ₁ sh16-11	0.28	417	0.01	0.01	0.02	0.5	4	0.002	0.59	3.57	
	HFQNSHK J ₁ sh16-12	0.56	433	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.30	1.79	
	HFQNSHK J ₁ sh14-1	0.21	421	0.01	0.01	0.02	0.5	5	0.002	0.79	4.76	0.002 6
	HFQNSHK J ₁ sh13-1	0.39	448	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.43	2.56	0.002 4
	JXHZh T ₃ J ₁ y34-1	0.64	427	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.26	1.56	
银瓶山组	JXHZh T ₃ J ₁ y34-2	0.74	483	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.22	1.35	0.001 6
	HFQNSHK T ₃ J ₁ y2	0.27	452	0.01	0.01	0.02	0.5	4	0.002	0.61	3.70	0.003 0
	KPIJ J ₁ j-10-1	2.07	600	0	0.01	0.01	0.15	1	0.01	0.008	0.000	
	KPIJ J ₁ j-10-2	2.65	605	0	0	0	0.48	0	0	0.000	0.000	
	KPIJ J ₁ j-10-3	1.75	609	0	0.01	0.01	0.43	1	0	0.000	0.000	0.002 0
	KPIJ J ₁ j-14	26.40	604	0	0.02	0.02	0.05	0	0.140	0.008	0.000	0.002 0
	HCSHK J ₁ j-st-1	7.55	609	0.01	0.15	0.16	0.04	2	0.020	0.003	0.147	
	HCSHK J ₁ j-st-2	19.30	609	0.04	0.28	0.32	0.11	2	0.070	0.004	0.255	
金鸡组	HCSHK J ₁ j-st-3	29.40	609	0.04	0.24	0.28	0.14	1	0.080	0.004	0.216	0.036 0
	HCSHK J ₁ j-st-4	5.93	609	0.01	0.06	0.07	0.19	1	0.030	0.006	0.186	
	HZHD J ₁ j34-1	1.18	386	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.140	0.850	
	HZHD J ₁ j35-2	0.04	/	0.01	0.01	0.02	0.5	25	0.002	4.150	25.000	
	HZHD J ₁ j36	0.01	422	0.01	0.01	0.02	0.5	100	0.002	16.600	100.000	
	HZHD J ₁ j37	0.38	453	0.01	0.01	0.02	0.5	3	0.002	0.440	2.630	
	JXHZh T ₃ xsh14-1	1.27	433	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.130	0.790	0.001 4
	JXHZh T ₃ xsh14-2	0.96	410	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.170	1.040	
	JXHZh T ₃ xsh14-3	1.15	480	0.01	0.01	0.02	0.5	1	0.002	0.140	0.870	
小水组	JXHZh T ₃ xsh14-4	0.49	395	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.340	2.040	
	JXHZh T ₃ xsh14-5	2.28	412	0.01	0.01	0.02	0.5	0	0.002	0.070	0.440	0.002 4
	JXHZh T ₃ xsh14-6	0.51	437	0.01	0.01	0.02	0.5	2	0.002	0.330	1.960	0.002 2
	XADP T3xp-fg-1	0.30	551	0	0.02	0.02	0.10	11	0.010	0.053	0.000	
	XADP T3xp-fg-2	0.89	520	0	0.02	0.02	0.03	3	0.020	0.028	0.000	0.002 0
	XADP T3xp-fg-3	0.40	605	0	0.02	0.02	0.05	7	0.020	0.071	0.000	
小平组	XADP T3xp-fg-4	2.03	609	0	0.04	0.04	0.03	2	0.040	0.023	0.000	
	XADP T3xp-ma-1	0.19	599	0.01	0.04	0.05	0.20	25	0.010	0.063	6.250	
	XADP T3xp-ma-2	17.70	608	0.01	0.07	0.08	0.16	0	0.110	0.008	0.068	
	XADP T3xp-ma-3	12.20	609	0.02	0.07	0.09	0.18	1	0.040	0.004	0.199	0.003 0

中地区广泛发育了一套厚度较大的浅海-半深海相沉积;随着早侏罗世晚期开始海退,粤东-粤中地区逐步演变为滨海、浅海-海陆交互相沉积^[4]。总体上,早侏罗世金鸡组、银瓶山组、上龙水组、长埔组、吉水门组、桥源组都发育有较好的烃源岩。

下侏罗统金鸡组烃源岩兼有泥岩和煤线,有机质类型为Ⅲ型。惠州黄洞剖面金鸡组 4 个泥岩样品的残余 TOC 范围为 0.01%~1.18%;开平金鸡剖面金鸡组泥岩的 TOC 范围为 1.75%~2.65%,煤线的残余 TOC 达到 26.4%;高明西安河村水库剖面金鸡组石塘段 4 个煤线样品的残余 TOC 范围为 5.93%~29.4%。

下侏罗统银瓶山组、上龙水组、长埔组和吉水门组烃源岩以泥岩、碳质页岩为主,有机质类型为Ⅱ型。银瓶山组 3 个样品的残余 TOC 值普遍不高,最高值为 0.74%。上龙水组褐色泥岩在粤东地区具有较大的厚度,且剖面出露良好,但 16 个样品的分析结果显示该组烃源岩的残余 TOC 并不高,最高值仅为 0.72%,多数样品不超过 0.5%。长埔组和吉水门组泥岩在粤东地区具有相当大的厚度,但剖面出露较差,烃源岩样品的残余 TOC 值普遍较低,吉水门组 1 个样品的残余 TOC 为 0.32%,长埔组 4 个样品的残余 TOC 为 0.36~0.46%。

下侏罗统桥源组烃源岩主要为黑色泥岩、炭质泥岩和煤线,有机质类型为Ⅲ型。华南陆缘在早侏罗世晚期逐渐过渡为海陆交互相沉积环境,因此,桥源组烃源岩的有机质丰度较高,并发育有煤线。惠来葵潭剖面 8 个煤系泥岩样品的残余 TOC 为 0.8%~6.1%;欧阳山剖面 3 个煤线样品的残余 TOC 为 1.34%~12.0%。

2.3 中侏罗统

受早侏罗世末燕山运动影响,华南大部强烈上隆,广泛缺失沉积。中侏罗世时期,仅粤东-粤中局部地区发育了河流、湖泊相沉积^[4]。中侏罗统塘厦组烃源岩主要为泥岩,有机质类型为Ⅲ型。4 个泥岩样品的残余 TOC 含量最高为 0.82%,最低为 0.15%。

3 烃源岩有机碳丰度恢复

华南陆缘区目前没有钻井岩心样品,仅有露头样品可以用来进行烃源岩的生烃条件评价。由于研究区经历了强烈的构造和火山活动影响,常年高温多雨,地表水和地下水丰富,植被茂盛,露头剖面烃源岩

样品风化淋滤严重,烃源岩样品普遍处于高成熟阶段,大部分样品的 R_o 为 2.0 左右,因此,在进行烃源岩条件评价时,对地表露头样品重点考虑了干酪根类型、沉积环境和岩性、烃源岩经历的成熟作用和风化淋滤作用等因素来进行有机碳丰度的定量恢复。

3.1 烃源岩有机碳恢复系数

由于缺乏低成熟和未风化的岩心样品,难以通过热模拟实验求取恢复系数来恢复烃源岩 TOC,因此,根据前人已有的研究成果^[6-15]采用相似类型干酪根进行类比的方法来恢复华南陆缘烃源岩在热演化和风化中损失的 TOC。

3.1.1 烃源岩风化恢复系数

赵政璋^[9]和秦建中^[11]等研究认为,演化程度中等的泥质烃源岩受风化作用影响的恢复系数为 2.0 左右,而高成熟且较致密的泥页岩和板岩受风化作用影响较小,恢复系数为 1.5 左右。华南陆缘区多数烃源岩具有较高的演化程度,但多数不够致密且长期遭受水的浸泡,因此将其 TOC 的风化恢复系数定为 1.7。

3.1.2 烃源岩热成熟恢复系数

华南陆缘区缺乏低成熟度样品,因而采用相似类型干酪根类比的方法来对烃源岩的初始有机碳进行恢复。根据秦建中^[11]等对大量海相烃源岩的热模拟实验研究表明:ⅡA 型烃源岩达到高-过成熟阶段 TOC 下降约 32%,恢复系数平均为 1.48,ⅡB 型烃源岩 TOC 下降约 24%,恢复系数平均为 1.32。

小水组和蓝塘群烃源岩大部分都是浅海-半深海相泥岩沉积,显微组分以海相镜质体、微粒体为主,部分样品中还能见到少量的陆源碎屑,且都处于过成熟演化阶段,因此,采用ⅡA 和ⅡB 型恢复系数的平均值 1.40 作为小水组和蓝塘群烃源岩在热成熟作用过程中 TOC 损失的恢复系数。对有机质类型为Ⅲ型的烃源岩不进行热成熟作用影响的恢复。

3.1.3 烃源岩有机碳总恢复系数

根据风化恢复系数和热成熟作用恢复系数的乘积得到烃源岩的有机碳总恢复系数。小水组和蓝塘群烃源岩总恢复系数即为 $1.7 \times 1.4 = 2.38$;干酪根类型为Ⅲ型的小坪组、金鸡组、桥源组及塘厦组烃源岩,总恢复系数直接为风化恢复系数 1.7。

3.2 烃源岩有机碳丰度恢复

利用烃源岩总有机碳恢复系数乘以残余有机碳含量,即得到华南陆缘烃源岩恢复后的初始有机碳丰度(表 3)。

表3 华南陆源烃源岩有机碳恢复后的 TOC
Table 3 Recovered TOC in source rocks around the margin of South China continent

地层层位	样品号	干酪根类型	残余 TOC/%	TOC 风化与 热演化校正	恢复后 TOC/%
塘厦组	TX J ₂ t87-2	Ⅲ型	0.34	1.7	0.58
	TX J ₂ t87-3		0.82		1.39
	TX J ₂ t87-4		0.47		0.80
	TX J ₂ t83-1		0.15		0.26
桥源组	HLKT J ₁ qy ² -34-1	Ⅲ型	6.1	1.7	10.37
	HLKT J ₁ qy ² -34-2		1.27		2.16
	HLKT J ₁ qy ² -34-1-2		1.71		2.91
	HLKT J ₁ qy ² -48-1		3.87		6.58
	HLKT J ₁ qy ² -48-2		2.69		4.57
	HLKT J ₁ qy ² -48-3		0.80		1.36
	HLKT J ₁ qy ³		4.71		8.01
	HLKT J ₁ qy ² -24		1.08		1.84
	OYS J ₁ qy-1		6.87		11.68
	OYS J ₁ qy-2		1.34		2.28
OYS J ₁ qy-3	12	20.40			
吉水门组	HFQNShK J ₁ jsh70-1	Ⅱ型	0.32	2.38	0.76
长埔组	HFQNShK J ₁ ch50-1	Ⅱ型	0.45	2.38	1.07
	HFQNShK J ₁ ch50-2		0.41		0.98
	HFQNShK J ₁ ch48		0.46		1.09
上龙水组	HFQNShK J ₁ sh29	Ⅱ型	0.31	2.38	0.74
	HFQNShK J ₁ sh28		0.34		0.81
	HFQNShK J ₁ sh16-1		0.25		0.60
	HFQNShK J ₁ sh16-2		0.63		1.50
	HFQNShK J ₁ sh16-3		0.41		0.98
	HFQNShK J ₁ sh16-4		0.55		1.31
	HFQNShK J ₁ sh16-5		0.54		1.29
	HFQNShK J ₁ sh16-6		0.72		1.71
	HFQNShK J ₁ sh16-7		0.54		1.29
	HFQNShK J ₁ sh16-8		0.46		1.09
	HFQNShK J ₁ sh16-9		0.36		0.86
	HFQNShK J ₁ sh16-10		0.39		0.93
	HFQNShK J ₁ sh16-11		0.28		0.67
	HFQNShK J ₁ sh16-12		0.56		1.33
	HFQNShK J ₁ sh14-1		0.21		0.50
HFQNShK J ₁ sh13-1	0.39	0.93			
银瓶山组	JXHZh T ₃ J ₁ y34-1	Ⅱ型	0.64	2.38	1.52
	XHZh T ₃ J ₁ y34-2		0.74		1.76
	HFQNShK T ₃ J ₁ y2		0.27		0.64

续表 3

地层层位	样品号	干酪根类型	残余 TOC/%	TOC 风化与 热演化校正	恢复后 TOC/4%
金鸡组	KPJJ J1jj-10-1	Ⅲ型	2.07	1.7	3.52
	KPJJ J1jj-10-2		2.65		4.51
	KPJJ J1jj-10-3		1.75		2.98
	KPJJ J1jj-14		26.40		44.88
	HCSHK J1jj-st-1		7.55		12.84
	HCSHK J1jj-st-2		19.30		32.81
	HCSHK J1jj-st-3		29.40		49.98
	HCSHK J1jj-st-4		5.93		10.08
	HZHD J1j34-1		1.18		2.01
	HZHD J1j35-2		0.04		0.07
	HZHD J1j36		0.01		0.02
	HZHD J1j37		0.38		0.65
小水组	JXHZh T ₃ xsh14-1	Ⅱ型	1.27	2.38	3.02
	JXHZh T ₃ xsh14-2		0.96		2.28
	JXHZh T ₃ xsh14-3		1.15		2.74
	JXHZh T ₃ xsh14-4		0.49		1.17
	JXHZh T ₃ xsh14-5		2.28		5.43
	JXHZh T ₃ xsh14-6		0.51		1.21
小坪组	XADP T3xp-fg-1	Ⅲ型	0.30	1.7	0.51
	XADP T3xp-fg-2		0.89		1.51
	XADP T3xp-fg-3		0.40		0.68
	XADP T3xp-fg-4		2.03		3.45
	XADP T3xp-ma-1		0.19		0.32
	XADP T3xp-ma-2		17.70		30.09
	XADP T3xp-ma-3		12.20		20.74

4 烃源岩条件评价

参考国内外通常采用的湖相或海相泥质烃源岩划分评价标准^[13](表 4),以及我国煤系烃源岩的划分评价标准^[6](表 5),分别对华南陆缘小水组和蓝塘群泥质烃源岩以及干酪根类型为Ⅲ型的小坪组、金鸡组、桥源组和塘厦组烃源岩进行划分和评价。

从评价结果(表 6)来看,小水组黑色泥岩的 TOC 经恢复之后,范围为 1.17%~5.43%,6 个样品 TOC 的平均值为 2.64%,干酪根类型主要为腐泥腐殖型,属好-很好级别的烃源岩,且厚度较大,在华南陆缘邻近海域开展中生界烃源岩研究评价时,值得重点关注是否存在与此相当的烃源岩层

系。

蓝塘群银瓶山组 3 个烃源岩的 TOC 恢复之后范围为 0.64%~1.76%,平均值为 1.31%,属中等-好级别烃源岩;上龙水组 16 个烃源岩样品恢复之后的 TOC 范围为 0.5%~1.71%,平均值 1.03%,属中等-好级别烃源岩;长埔组 4 个烃源岩样品恢复之后的 TOC 范围为 0.86%~1.09%,平均值为 1.0%,属于中等级别烃源岩;吉水门组 1 个烃源岩样品恢复之后的 TOC 为 0.76%,属中等级别烃源岩。总体来看,蓝塘群烃源岩 24 个烃源岩样品恢复之后的 TOC 分布范围为 0.5%~1.76%,平均为 1.05%,有机质类型主要为腐泥腐殖型,基本上为中等-好级别的烃源岩。蓝塘群烃源岩厚度较大,在华南陆缘邻近海域进行中生界油气勘探评价时,值得特别注意判断是否发育有与之相当的这套烃源岩。

表4 国内外常用的泥(页)岩烃源岩划分标准^[13]

Table 4 Definition of mudstone (shale) source rocks from overseas and at home

烃源岩级别	很好	好	中等	差	非烃源岩
TOC/%	>2	1~2	0.5~1 (II ₁) 0.6~1 (II ₂) 0.7~1 (III)	0.3~0.5 (II ₁) 0.4~0.6 (II ₂) 0.5~0.7 (III)	<0.3 (II ₁) <0.4 (II ₂) <0.5 (III)
S ₁ +S ₂ /(mg/g)	>20	6~20	2~6	1~2	<1
沥青“A”/%	>0.2	0.1~0.2	0.05~0.1	0.015~0.05	<0.015
总烃/×10 ⁻⁶	>1 000	500~1 000	200~500	100~200	<100

表5 中国煤系泥岩生烃潜力评价标准^[6]

Table 5 Appraisal criteria of coal-bearing mudstone source rocks in China

烃源岩级别	很好	好	中等	差	非
TOC/%	3~6	3~6	1.5~3	0.75~1.5	<0.75
沥青“A”/%	>1.2	0.6~1.2	0.3~0.6	0.15~0.3	<0.15
HC/%	>0.7	0.3~0.7	0.12~0.3	0.05~0.12	<0.05
S ₁ +S ₂ /(mg/g)	>20	6~20	2~6	0.5~2	<0.5

表6 华南陆缘中生界烃源岩条件评价

Table 6 Assessment criteria of Mesozoic source rocks at the margin of South China continent

烃源岩层位	沉积环境	岩性	有机碳含量范围及均值/%	有机质类型	镜质体反射率/%	烃源岩级别
塘厦组	浅湖、扇三角洲	泥岩	0.26~1.39 0.76	Ⅲ型	2.07	非-差
桥源组	滨海、海陆交互、浅海陆棚、三角洲	煤线、炭质泥岩、黑色泥岩	1.36~10.37 4.72	Ⅲ型	2.23~2.26 1.10(三水)	好
吉水门组	浅海陆棚	泥页岩	0.76	Ⅱ型	≤2.1	中等
蓝塘群	长埔组	碳质页岩	0.86~1.09 1.0	Ⅱ型	≤2.05	中等
	上龙水组	半深海 泥岩、页岩	0.5~1.71 1.03	Ⅱ型	≤2.32	中等-好
	银瓶山组	浅海-半深海 泥岩	0.64~1.76 1.31	Ⅱ型	≤1.74	中等-好
金鸡组	滨海	炭质泥岩、煤线	0.02~4.51 1.96	Ⅲ型	1.75~1.90	中等
小水组	浅海陆棚	黑色泥岩	1.17~5.43 2.64	Ⅱ型	2.26	好-很好
小坪组	海陆过渡相	泥岩、煤线	0.32~3.45 1.3	Ⅲ型	1.36	差

小坪组、金鸡组、桥源组及塘厦组烃源岩,有机质类型均以Ⅲ型为主。小坪组7个烃源岩样品兼有泥岩和薄层煤线,除马安段2个薄层煤线样品TOC分别为30.09%和20.74%外,其他5个泥岩样品恢复后的TOC范围为0.32%~3.45%,TOC平均值为1.3%,属差级别烃源岩。金鸡组12个烃源岩样品兼有泥岩和煤线,尽管薄层煤线样品的TOC值

较高,但生烃潜力较差;其他7个煤系泥岩样品恢复之后的TOC范围为0.02%~4.51%,平均值为1.96%,属中等级别烃源岩,具有一定的生烃能力。桥源组11个烃源岩样品兼有泥岩和煤线,欧阳山剖面3个烃源岩样品为薄层煤线,具有一定的生烃潜力;惠来葵潭剖面8个煤系泥岩样品恢复后的TOC范围为1.36%~10.37%,平均值为4.72%,属好级

别烃源岩,具有一定的生烃能力。塘厦组 4 个泥岩样品恢复后的 TOC 范围为 0.26%~1.39%,平均值为 0.76%,为非-差级别烃源岩。

5 结论

(1) 尽管对华南陆缘中生界烃源岩的评价缺少钻井岩心样品,所分析的样品都采自剖面露头,烃源岩的成熟度较高,难以通过热模拟实验求取恢复系数来恢复烃源岩的 TOC,但通过充分考虑地表露头样品的干酪根类型、沉积环境和岩性、烃源岩经历的热成熟作用和风化淋滤作用等因素,采用相似类型干酪根类比的方法来进行有机碳丰度的定量恢复,进而对华南陆缘中生界烃源岩的生烃潜力开展评价,仍不失其客观性和有效性。

(2) 随着南海北部中生界油气资源勘探不断深入,南海北部中生界油气资源前景得到了众多专家学者的广泛关注,许多专家认为潮汕坳陷就是南海北部大陆边缘及珠江口盆地具有代表性的中生代残留盆地,中生界应是珠江口盆地东部寻找油气的一个重要领域^[16-18]。但由于长期以来钻井、地震剖面等实际资料的缺乏制约了对南海北部中生界油气地质条件的深入系统研究,对海域中生界的油气资源前景评价缺少对比依据,而华南陆缘广泛出露的、累计厚度超过 10 000 m 的上三叠统-白垩系,其地层发育、分布特征与海域处于同一构造背景之下,存在一定的连续性和可比性。尽管露头调查未见油苗,但通过对华南陆缘广泛分布的中生界露头进行系统的烃源岩样品采集、分析测试,进而评价其生烃条件,并以此为由陆及海的对比基础,将可为海域中生界油气地质条件评价提供依据。

(3) 对华南陆缘中生界烃源岩的分析结果表明,晚三叠世小水组、早侏罗世蓝塘群烃源岩品质良好,厚度巨大,岩性主要为泥岩、碳质泥岩和煤线,有机质类型以 II-III 型为主,在南海北部海域开展中生界烃源岩研究时,重点应关注是否有与之相当的烃源岩层系发育。

参考文献 (References)

- [1] 黎汉明. 广东三叠纪岩石地层划分[J]. 广东地质, 1995, 10(1): 54-60. [LI Hanming. Triassic stratigraphic classification in Guangdong province[J]. Guangdong Geology, 1995, 10(1): 54-60.]
- [2] 黎汉明. 广东白垩纪岩石地层划分[J]. 广东地质, 1995, 10(1): 61-68. [LI Hanming. Cretaceous stratigraphic classification in Guangdong province[J]. Guangdong Geology, 1995, 10(1): 61-68.]
- [3] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1998. [Guangzhou Geology and Mineral Resources Department. Regional Geological Annals of Guangdong province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.]
- [4] 广州省地调院. 广东省岩相古地理图. 2007. [Guangzhou Geological Survey. Lithofacies-paleogeography map of Guangdong province. 2007.]
- [5] 周蒂, 孙真, 陈汉宗, 等. 南海及其围区中生代岩相古地理和构造演化[J]. 地质前缘, 2005, 12(3): 204-218. [ZHOU Di, SUN Zhen, CHEN Hanzong, et al. Mesozoic lithofacies, paleogeography, and tectonic evolution of the South China Sea and surrounding areas[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 204-218.]
- [6] 陈建平, 赵长毅, 何忠华. 煤系有机质生烃潜力评价标准探讨[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(1): 1-5. [CHEN Jianping, ZHAO Changyi, HE Zhonghua. Criteria for evaluating the hydrocarbon generating potential of organic matter in coal measures[J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(1): 1-5.]
- [7] 郝石生, 王飞宇, 高岗, 等. 下古生界高过成熟烃源岩特征和评价[J]. 中国石油勘探, 1996, 1(2): 25-32. [HAO Shisheng, WANG Feiyu, GAO Gang, et al. Characteristics and assessments of early paleozoic high-overmature source rock[J]. China Petroleum Exploration, 1996, 1(2): 25-32.]
- [8] 金强. 生油岩原始有机碳恢复方法的探讨[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1989, 13(5): 1-10. [JIN Qiang. The restoration of initial organic carbon in source rocks[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1989, 13(5): 1-10.]
- [9] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原海相烃源岩层的油气生成[M]. 北京: 科学出版社, 2000. [ZHAO Zhengzhang, LI Tiejong, YE Hefei, et al. The hydrocarbon generation of marine source rock in Tibetan Plateau Basin[M]. Beijing: Sciences press, 2000.]
- [10] 秦建中, 刘宝泉, 国建英, 等. 关于碳酸盐岩烃源岩的评价标准[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 281-286. [QIN Jianzhong, LIU Baoquan, GUO Jianying, et al. Discussion on the evaluation standards of carbonate source rocks[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2004, 26(3): 281-286.]
- [11] 秦建中, 郑伦举, 腾格尔. 海相高演化烃源岩总有机碳恢复系数研究. 地球科学—中国地质大学学报, 2007, 32(6): 853-860. [QIN Jianzhong, ZHENG Lunju, TENG Ge'er. Study on the restitution coefficient of original total organic carbon for high mature marine hydrocarbon source rocks[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(6): 853-860.]
- [12] 苏艾国. 干酪根碳同位素在成熟和风化过程中变化规律初探[J]. 矿物岩石地球化学通报, 18(2): 79-84. [SU Aiguo. Discussion on variation of carbon isotope of kerogen during thermal maturation and weathering[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 18(2): 79-84.]
- [13] 王玉华, 侯启军, 孙德汉, 等. 柴达木盆地北缘地区中新世地

- 层油气生成与资源评价[M].北京:科学出版社,2004. [WANG Yuhua, HOU Qijun, SUN Dehan, et al. Meso-cenozoic Hydrocarbon Generation and Resource Assessment in North Areas of Chaidamu Basin[M]. Beijing: Sciences Press, 2004.]
- [14] 熊国庆,江新胜,伍皓.用 Mo-TOC 相关性估算海相泥质烃源岩原始有机碳的一种新方法—以藏南白垩系海相泥岩、页岩为例[J].沉积与特提斯地质,2010,30(2):66-72. [XIONG Guoqing, JIANG Xinsheng, WU Hao. A new method to estimate original organic carbon in the marine argillaceous source rocks according to Mo-TOC correlation: An example from the Cretaceous marine mudstones and shales in southern Xizang[J]. Sedimentary Geology And Tethyan Geology, 2010,30(2):66-72.]
- [15] 熊永强,张海组,耿安松.热演化过程中干酪根碳同位素组成的变化[J].石油实验地质,2004,26(5):484-487. [XIONG Yongqiang, ZHANG Haizu, GENG Ansong. Variation of carbon isotopic composition of kerogen during thermal evolution [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2004, 26(5): 484-487.]
- [16] 郝沪军,林鹤鸣,杨梦雄,等.潮汕坳陷中生界—油气勘探的新领域[J].中国海上油气(地质),2001,15(3):157-162. [HAO Hujun, LIN Heming, YANG Mengxiong, et al. The Mesozoic In Chaoshan Depression: A new domain of petroleum exploration[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2001,15(3): 157-162.]
- [17] 郝沪军,施和生,张向涛,等.潮汕坳陷中生界及其石油地质条件—基于 LF35-1-1 探索井结果的讨论[J].中国海上油气(地质),2009,21(3):151-156. [HAO Hujun, SHI Hesheng, ZHANG Xiangtao, et al. Mesozoic sediments and their petroleum geology conditions in Chaoshan sag: a discussion based on drilling results from the exploratory well LF35-1-1[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2009, 21(3): 151-156.]
- [18] 王国纯.中国东部海域中生界地质特征及含油气前景[J].中国海上油气(地质),1994,8(2):91-98. [WANG Guochun. Geological characteristics and hydrocarbon potential of Mesozoic in eastern China Offshore[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 1994,8(2):91-98.]

ASSESSMENT OF MESOZOIC SOURCE ROCKS AT THE MARGIN OF SOUTH CHINA CONTINENT

ZHANG Li¹, GENG Ansong², WANG Liaoliang¹, LIAO Yuhong², XU Guoqiang³, WEI Zhenquan¹

(1 Guangzhou Marine Geological Survey, MLR, Guangzhou 510760;

2 Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS Guangzhou 510640;

3 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: The total thickness of the Upper Triassic and Cretaceous are over 10000 meters around the margin of South China continent. No oil seepage has been discovered so far on outcrops. The source rocks are mainly composed of mudstones, carbonaceous mudstones and coal seams. The organic matter is of type II-III. High quality source rocks, which contain 1.17%~5.43% of TOC, have been found in the deep marine deposits of the Xiaoshui Formation of Upper Triassic. The Bianqiaoyuan Formation of Lower Jurassic is a transitional facies, where source rocks have been found with 1.36%~10.37% of TOC. In other Formations of Lower Jurassic there are rocks of neritic-bathyal marine facies with 0.5%~1.76% of TOC. The source rocks are now matured or over matured. Among them, the source rocks in the Xiaoshui Formation and Lantang Group are the best with regard to the high TOC and big thickness. In addition to the Mesozoic source rocks in Northern South China Sea, the source rocks around the margin of South China must be taken into account.

Key words: Mesozoic; Source rocks; Onshore of South China;