

莺—琼盆地气源岩排烃实验研究

耿安松 周毅 傅家谟 盛国英

(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640)

张启明

(中国海洋石油南海西部公司勘探开发科学研究院, 湛江 524057)

提 要 本文对莺—琼盆地崖城组和梅山组气源岩样品进行了排烃模拟实验, 结果表明梅山组样品单位有机碳的总产烃能力比崖城组差, 崖 13-1 气田的天然气可能属多来源的, 是高成熟气源岩的产物。

关键词 天然气 排烃 热模拟 莺—琼盆地

第一作者简介 耿安松 男 35 岁 研究员(博士) 有机地球化学

莺—琼盆地位于我国南海北部大陆架西区(图 1), 由莺歌海和琼东南两个盆地组成, 两者以 1 号断层为界。盆地中蕴藏着丰富的天然气资源, 我国目前发现的最大的海上天然气田——

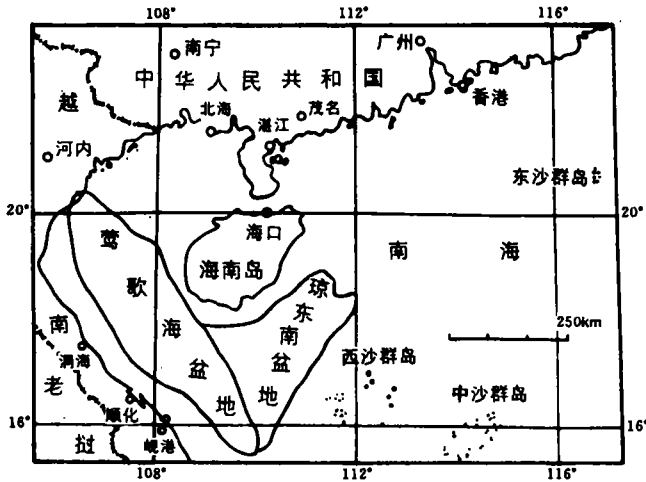


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the study area

崖 13-1 气田就位于该盆地中。该盆地是由热沉降产生的拗陷性盆地, 发育于第三纪。盆地深

• 本文系“八五”国家重点科技攻关项目 85-102-15-03-05 研究成果之一。

度大、沉积厚,地温梯度高,具有高温高压环境。多年来,国内外的石油地质工作者对崖 13-1 气田已做了大量的研究工作,迄今为止对该气田的油气来源及运移问题尚未形成比较一致的认识。本文采用热模拟实验方法对此进行了研究和探讨。

1 模拟实验的条件及原始样品特征

崖 13-1 气田位于海地岛崖城南 100km 的海区,琼东南盆地的西端,紧靠 1 号断层。关于崖 13-1 气田天然气的来源目前主要有两种认识,一种认为来自于莺歌海盆地的梅山组(张泉兴、张启明,1987),另一种认为来自于琼东南盆地的崖城组^①。因此,本次工作选取了梅山组和崖城组各一块泥岩样品来进行气源岩排烃热压模拟实验,原始样品的基本地球化学参数见表 1、表 2 和表 3。实验装置为高温高压半封闭体系(傅家谟等,1990),实验温度范围为 200~600℃,间隔 50℃,每个温度点恒温加热 12 小时,压力恒定为 71.4MPa。为了使样品中的有机母质尽可能都裂解成气,样品的上、下方均用细粒层析硅胶封闭,以阻止热解产出的油脱离加热体系。每个温度点加热时间结束时,将所运移出的气体全部取出,得到每个温度点运移出的气体量,然后再升到下一个温度点。所有温度点的气体产物都在 HP5890 I 轻烃气相色谱仪上进行了成分分析。

表 1 原始样品的地球化学参数

Table 1 The geochemical parameters of the rock samples

地 层 层 位	TOC (%)	沥青 A (ppm)	沥青 A 族组成 (%)			成 熟 度		有机质 类 型
			烷 烃	芳 烃	非 烃 + 沥 青 质	T _{max} (°C)	R _o	
崖城组	0.49	984.4	24.65	20.60	54.75	430	0.52	I b
梅山组	0.43	264.6	6.40	15.12	78.48	424	0.45	II

表 2 原始样品的烷烃色谱参数

Table 2 The GC parameters of alkanes of the rock samples

样 品 层 位	正烷烃 碳数范围	正烷烃 主峰碳	OEP 分布范围	OEP 值	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
崖城组	C ₁₁ -C ₃₈	C ₁₅	C ₁₇ -C ₃₈	1.05	2.94	2.27	0.96
梅山组	C ₁₂ -C ₃₅	C ₃₁	C ₁₆ -C ₃₅	1.12	3.37	3.94	1.46

表 3 原始样品的甾、萜参数

Table 3 The sterane and triterpane parameters of the rock samples

样 品 层 位	甾 烷 参 数				萜 烷 参 数			
	$\frac{\alpha\alpha\alpha 20R}{C_{27} C_{28} C_{29}}$ (%)			$\frac{C_{29} \alpha\beta\beta 20(R+S)}{\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha}$	$\frac{C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S}{20(R+S)}$	$\frac{22R}{C_{32} 22(R+S)}$	$\frac{Tm}{Ts}$	$\frac{C_{29}\alpha\beta}{C_{30}\alpha\beta}$
崖城组	35.7	25.2	39.2	0.35	0.36	0.39	1.73	0.49
梅山组	31.7	26.9	41.4	0.25	0.14	0.28	5.29	0.56

① 陈伟煌等,1985,崖 13-1 气田煤成气特征及气藏形成条件。

2 模拟实验气体运移特点

实验结果表明,在不同温度点上,崖城组样品运移出的气体量分布范围为 0.60~1.12ml/g 岩石(122~229ml/g. TOC),每个温度点上都有气体运移出来,说明气体的生成和运移是在持续进行的,累积运移出的气体量为 6.90ml/g 岩石(1408ml/g. TOC);梅山组样品运移出的气体量分布范围为 0.45~2.48ml/g 岩石(105~577ml/g. TOC),其中在 200℃和 250℃这两个温度点上运移出来的气体是岩石中原有的吸附烃,而不是由于酪根热解新生成的烃,这可以由 Rock - Eval 热解参数得到证实,其 S_1 为 S_2 的两倍(表 4)。在 300~450℃的温度范围既没有气体生成,也没有气体运移出来,直到 500℃才开始有气体生成并运移出来,500℃~600℃累积运移出的气体量为 4.58ml/g 岩石(933ml/g. TOC),这意味着崖城组样品中干酪根活化能的分布范围比梅山组的宽。对比表明梅山组单位有机碳总的产烃能力比崖城组差,但在高演化阶段梅山组样品运移出的气体量大于崖城组样品运移出的气体量(图 2,表 5)。

表 4 Rock - Eval 热解参数

Table 4 The pyrolysis parameters of Rock - Eval

样品层位	S_1	S_2 主峰	T_{max} (℃)	H_1	TOC (%)
崖城组	0.29	1.21	430	246	0.49
梅山组	0.63	0.33	424	76	0.43

表 5 实验运移出的气体量(ml/g. TOC)

Table 5 The amount of the expelled gases

样品层位	200℃	250℃	300℃	350℃	400℃	450℃	500℃	550℃	600℃
崖城组	190	122	122	167	159	147	139	229	133
梅山组	105	105	/	/	/	/	133	356	577

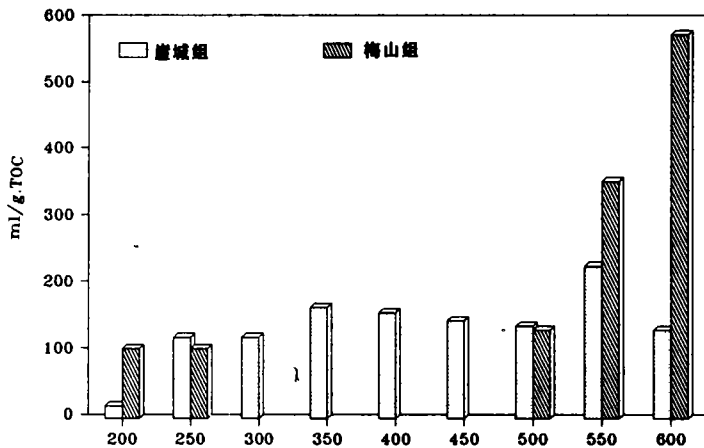


图 2 莺-琼盆地烃源岩热压实验各温度点上运移出的气体量

Fig. 2 The amount of gases experimentally expelled from the samples

表6 模拟实验运移气体的组成(ppm)
Table 6 The composition of the expelled gases

样品	气体组成 (ppm)	实 验 温 度									
		200℃	250℃	300℃	350℃	400℃	450℃	500℃	550℃	600℃	
崖	CH ₄	38	128	484	2410	10300	25000	36200	64400	40500	
	C ₂ H ₄	3.4	7.4	106	212	561	487	253	235	99.2	
	C ₂ H ₆	15	17.9	87.1	472	2420	3790	2450	2010	890	
	C ₃ H ₆	3	7.8	104	174	447	381	186	150	48.1	
	C ₃ H ₈	14.2	9.7	85.7	2820	1060	1250	650	403	130	
	iC ₄	16.5	8.8	251	454	716	242	209	116	32.1	
	nC ₄	11.2	5	32.4	62.1	230	473	147	94.8	24.1	
	iC ₅	33.7	14.6	118	163	308	216	13.4	95	27.9	
	nC ₅	12	6.4	13.2	12	56.8	64.5	63.7	37.8	10.8	
	1	9.56	3.13	6.24	2.18	5.98	6.16	14.5	3.02	2.02	
	2	1.62	/	/	/	/	0.39	2.01	/	/	
城	3	31.1	18.7	36	30.6	64.7	54.1	57.2	45.3	14.1	
	4	15.5	6.26	14.3	10.6	27.3	22.2	27.5	17.2	6.23	
	5	15.3	5.93	9.87	3.66	13.8	17.6	42.8	14.1	5.38	
	6	3.13	1.39	2.22	0.95	3.06	3.14	4.52	3.23	1.59	
	7	7.15	2.85	4.68	0.87	2.01	2.32	11.3	2.99	1.87	
	8	33.7	11.8	20.6	6.13	18.2	20.5	56.5	19.4	9.76	
	9	11.7	3.47	7.19	1.29	2.28	0.44	28.3	4.2	2.89	
	10	/	/	/	0.19	/	/	/	/	/	
	11	/	/	/	0.85	/	/	/	/	/	
	组	H ₂	133	/	451	5840	33200	26100	81000	126000	86200
		CO ₂	25400	11700	12700	30100	13500	19400	53700	281000	240000
N ₂		783000	797000	800000	812000	777000	777000	686000	382000	502000	
O ₂		190000	191000	162000	148000	157000	144000	137000	138000	125000	
CO		/	/	216	886	611	684	975	4430	3620	
C ₁ /C ₁₋₇ (%)		13.78	49.40	35.01	35.26	63.44	78.05	89.57	95.19	96.88	
NHC/HC		3621.02	3857.91	705.51	145.81	60.44	30.20	23.72	13.77	22.89	
梅		CH ₄	316	604	/	/	/	/	25300	13000	13300
		C ₂ H ₄	13.6	33	/	/	/	/	121	23	13.6
		C ₂ H ₆	37.4	60.1	/	/	/	/	1010	182	77.7
		C ₃ H ₆	9.6	21.4	/	/	/	/	50.9	15.9	7
	C ₃ H ₈	16.5	25.2	/	/	/	/	239	40.9	9	
	iC ₄	8.6	19.4	/	/	/	/	53.7	9.3	2.4	
	nC ₄	6.7	6.6	/	/	/	/	47.6	9.92	3.2	
	iC ₅	9.8	11.4	/	/	/	/	24.8	5.5	2.4	
	nC ₅	5.6	3.6	/	/	/	/	21.5	5.4	2.6	
	1	1.25	/	/	/	/	/	1.86	/	/	
	2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
山	3	6.54	5.05	/	/	/	/	11.6	2.98	1.38	
	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5	4.04	1.97	/	/	/	/	8.63	2.39	1.45	
	6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	8	4.58	2	/	/	/	/	6.75	/	/	
	9	3.55	1	/	/	/	/	3.45	/	/	
	10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	组	H ₂	510	/	/	/	/	/	88700	101000	150000
		CO ₂	35500	19000	/	/	/	/	20300	639000	750000
N ₂		793000	832000	/	/	/	/	744000	199000	59000	
O ₂		170000	148000	/	/	/	/	120000	45800	18300	
CO		/	/	/	/	/	/	1610	1270	5620	
C ₁ /C ₁₋₇ (%)		71.21	76	/	/	/	/	94.05	97.76	99.10	
NHC/HC		2251.24	1257.40	/	/	/	/	36.23	74.16	73.24	

备注: 1=甲基环戊烷, 2,2,二甲基丁烷, 2,3,二甲基丁烷三者之和; 2=环己烷; 3=2-甲基戊烷; 4=3-甲基戊烷; 5=正己烷; 6=2,4,二甲基戊烷; 7=甲基环己烷; 8=2-甲基己烷; 9=正庚烷; 10=苯; 11=甲苯

3 模拟实验运移气体的组成及演化特征

模拟实验中运移出来的气体可分为烃类气体和非烃类气体这两类,烃类气体主要为 CH_4 , 此外还有 C_2H_4 、 C_2H_6 、 C_3H_6 、 C_3H_8 、 $i\text{C}_4$ 、 $n\text{C}_4$ 、 $i\text{C}_5$ 、 $n\text{C}_5$ 等,非烃气体则有 CO_2 、 H_2 、 N_2 、 O_2 、 CO 等。热演化早期运移出的气体中含有大量的非烃气体,随着演化程度的增高,运移气体中非烃的比例迅速下降,而烃类气体的比例则迅速升高(表 6)。

由于运移出的气体中含有大量的非烃气体,所以其组成不能直接与崖 13-1 气田的天然气组成进行对比。如果去掉运移气体中的非烃气体,并将烃类气体的组成归一化后,就可以对比崖 13-1 气田天然气与运移气体两者的组成了。从表 7 可见,崖 13-1 气田天然气中 C_1 、 C_2 - C_4 及 C_5 - C_7 的百分比与归一化的高演化阶段运移气体组成中相应组分的百分比相似,这与崖 13-1 气田烃类气体的同位素组成指示其为高熟热解气的结果(张泉兴、温伟明,1993)是一致的。

表 7 崖 13-1 气田天然气和归一化的实验运移气体的组成对比

Table 7 The composition of the gases of Ya13-1 gasfield and the normalized expelled gases

样 品		归一化的气体组成 (%)			C_6 组成 (%)				C_7 组成 (%)				
		C_1	C_2 - C_4	C_5 - C_7	正构	异构	环烷	芳香	正构	异构	环烷	芳香	
实验排出的气体	崖城组	200℃	13.78	22.95	63.27	24.09	73.36	2.55	0.00	21.01	66.15	12.84	0.00
		250℃	49.40	21.84	28.76	19.20	80.80	0.00	0.00	17.79	67.61	14.61	0.00
		300℃	35.01	48.19	16.80	16.40	83.60	0.00	0.00	20.73	65.78	13.49	0.00
		350℃	35.25	61.35	3.40	8.12	91.45	0.00	0.42	12.78	70.18	8.57	8.46
		400℃	63.44	33.47	3.09	13.04	86.96	0.00	0.00	8.92	83.21	7.87	0.00
		450℃	78.05	20.68	1.27	18.67	80.92	0.41	0.00	1.67	89.54	8.79	0.00
		500℃	89.57	9.64	0.80	33.05	65.04	1.55	0.00	28.13	60.64	11.23	0.00
		550℃	95.19	4.45	0.36	18.41	81.59	0.00	0.00	14.08	75.89	10.03	0.00
		600℃	96.88	2.93	0.20	20.93	79.07	0.00	0.00	17.94	70.45	11.61	0.00
	梅山组	200℃	71.21	20.82	7.97	38.19	61.81	0.00	0.00	43.67	56.33	0.00	0.00
		250℃	76.00	20.85	3.15	28.06	71.94	0.00	0.00	33.33	66.67	0.00	0.00
		500℃	94.05	5.66	0.29	42.66	57.34	0.00	0.00	33.82	66.18	0.00	0.00
		550℃	97.76	2.11	0.12	44.51	55.49	0.00	0.00	—	—	—	—
		600℃	99.10	0.84	0.06	51.24	48.76	0.00	0.00	—	—	—	—
	气层气	崖 13-1-1	84.18	3.09	0.90	10.30	19.01	19.89	50.79	15.74	21.91	35.49	26.86
		崖 13-1-1	85.03	3.40	1.25	9.39	18.32	20.40	51.89	12.50	17.19	31.45	38.87
		崖 13-1-1	86.50	10.41	0.53	5.56	12.50	47.22	34.72	7.69	0.00	34.62	58.69
		崖 13-1-2	86.53	1.76	0.11	12.37	17.76	17.90	51.97	17.65	0.00	55.88	26.46
崖 13-1-2		88.52	0.91	0.17	11.32	19.02	23.46	46.19	17.77	7.97	35.76	38.50	
崖 13-1-2		88.95	2.82	0.23	11.46	19.80	24.88	43.86	16.92	16.92	29.85	36.32	
崖 13-1-3		83.22	6.68	0.52	16.85	33.26	29.13	20.76	17.06	25.40	44.44	13.10	
崖 13-1-4		84.58	4.49	0.44	11.70	21.48	27.79	39.03	12.48	18.90	38.19	30.43	
崖 13-1-4		85.71	5.87	0.49	13.25	27.50	29.63	29.63	13.49	22.22	42.06	22.22	
崖 13-1-4		86.32	6.36	0.54	14.73	28.66	30.76	25.85	14.54	22.31	42.36	20.80	

崖 13-1 气田天然气和归一化的实验运移气体在 C_6 和 C_7 组成上既有相似之处,也有不同之处:异构烷烃的比例大于正构烷烃的比例(即 $i\text{C}_6 > n\text{C}_6$, $i\text{C}_7 > n\text{C}_7$)是两者的共同特点;崖 13-1 气田天然气中具有高含量的环烷烃(环己烷、甲基环己烷)和芳烃(苯、甲苯),远远大于

归一化的实验运移气体中环烷烃和芳烃的含量,这是二者的不同特征(表 7)。崖 13-1 气田天然气中高含量的环己烷系列和苯系列化合物可能是继承了气源岩的特征,也可能是在天然气运移过程中富集而成的。

4 凝析油和气源岩抽提物饱和烃的单体碳同位素组成对比

为了进行气-源对比,对模拟实验所选的崖城组、梅山组样品,以及莺歌海盆地乐东 15-1-1 井莺黄组这三个气源岩样品的抽提物 and 崖 13-1-4 井中的凝析油进行了饱和烃单个化合物的碳同位素组成分析,除个别化合物之外,这几个样品中同碳数的饱和烃单个化合物的碳同位素组成彼此相近(图 3),说明崖城组、梅山组和莺黄组中有机质都有可能是崖 13-1 气田凝析油的母质。换句话说,崖 13-1 气田的油气可能是多来源的。不过根据地质条件可以排除莺黄组对崖 13-1 气田的贡献,因为在莺黄组之下,有一个区域性的盖层。

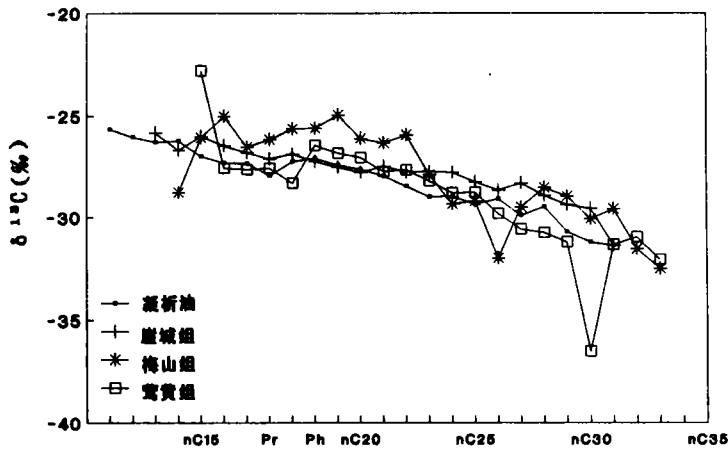


图 3 饱和烃单个化合物的碳同位素组成

Fig. 3 $\delta^{13}\text{C}$ values of the individual compound of the saturated hydrocarbon

综上所述,崖 13-1 气田的天然气可能是高成熟气源岩的产物,其组成是有机母质类型和气体运移作用的共同体现。崖 13-1 气田的天然气可能是多来源的,要确定各气源岩的贡献或主力气源岩仍需做进一步的研究。

中国海洋石油南海西部公司勘探开发科学研究院协助进行本项工作,张惠之同志完成气体组成分析,谨此致谢!

收稿日期:1994 年 10 月 15 日

参 考 文 献

- [1] 傅家谟等,1990,煤成烃地球化学,北京:科学出版社,40-46。
- [2] 张泉兴、温伟明,1993,莺-琼盆地天然气组成和同位素资料的地质应用,莺歌海盆地石油地质论文集,北京:地震出版

社,113—119。

〔3〕张泉兴、张启明,1987,崖13-1气田油气运移特征,中国海上油气,1(2):35—42。

Experimental Investigation of Gas Expelled from Source Rock, Ying—Qiong Basin

Geng Ansong Zhou Yi Fu Jiamo Sheng Guoying

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Wushan, Guangzhou 510640)

Zhang Qiming

(China Offshore Oil Nanhai West Corporation, Potou, Zhanjiang 524057)

Abstract

Thermal modelling of gas expelled from source rocks of Yacheng Formation and Meishan Formation in Ying—Qiong Basin was made. The total amount of gases generated and expelled from Yacheng Formation is larger than that from Meishan Formation, suggesting that the gas generation potential of Yacheng Formation is higher than that of Meishan Formation. The similarity of the percentage of C_1 , C_2-C_4 and C_5-C_7 of the gases from Ya13-1 field to that of the normalized gases produced at high evolution stage implies that the gases of Ya13-1 field may come from the source rocks with high maturity. There are similarity and difference between the composition of C_6 and C_7 of the gases from Ya13-1 field and that of the normalized gases produced during the experiment. The stable carbon isotope composition of the saturated fraction of the condensate of Ya13-1 field and the extracts of Yacheng Formation, Meishan Formation, Ying—Huang Formation indicates that the gases of Ya13-1 gas field may come from multiple source rocks.