

珠江口盆地东部油气生成与勘探

陈斯忠 张明辉 张俊达

(南海东部石油公司, 广州)

有机地化特征的分析资料说明,区内原油母质为陆源生物,主要烃源岩是文昌组泥岩和恩平组煤系。中中新世-晚中新世大量排烃期,有利于油气聚集在同期或较早期形成的圈闭构造。根据留烷运移指标 $C_{29}\alpha\beta 20R/C_{29}\alpha\alpha 20R$ 的变化规律,表明区内油气可作较长距离的运移,运移方向恰与构造脊的延展方向相吻合。邻接生油凹陷的隆起区是寻找大油气田的有利场所。

关键词 珠江口盆地 地球化学 陆相沉积 生油岩 油源对比 油气勘探

第一作者简介 陈斯忠 男 56岁 高级工程师 石油地质

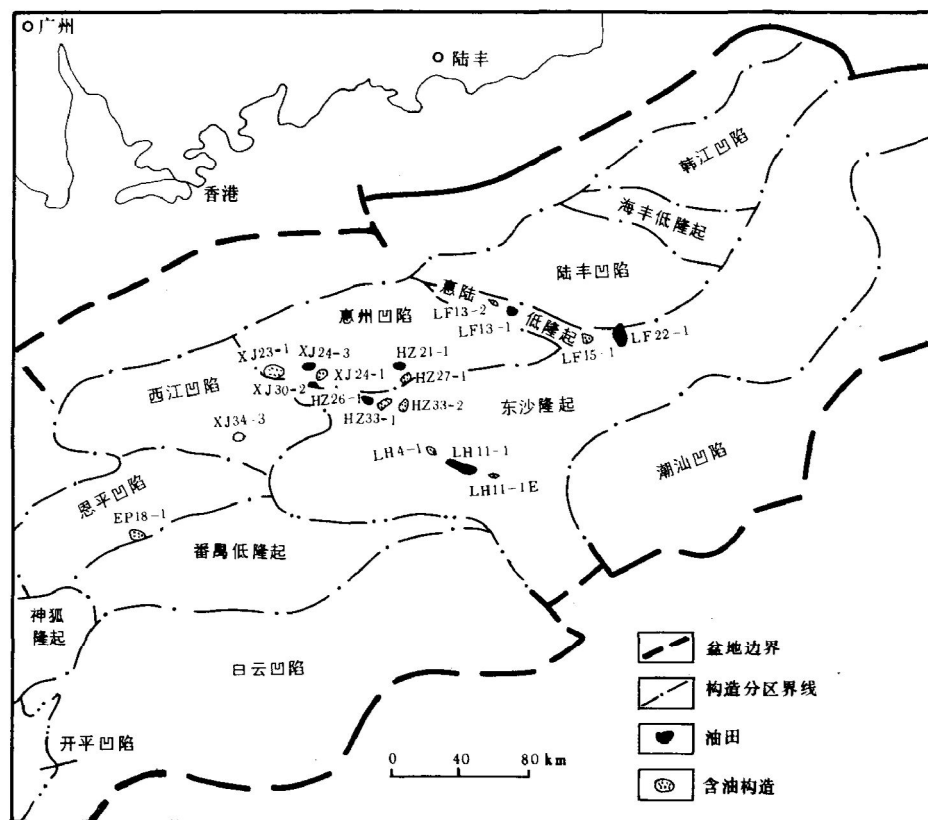


图1 珠江口盆地东部地区油田分布图

本文1990年12月20日收到。

表1 珠江口盆地东部原油物性及化学元素组成

序号	样号	比重 (g/cm ³)	粘度 (cP)	凝固点 (℃)	含蜡量 (%)	S (%)	Ni (ppm)	V (ppm)
1	HZ21-1 A	0.7995	3.7	22.0	12.62	0.09	0.330	0.007
2	HZ21-1 B	0.7975	2.84	17.0	17.99	0.14	0.23	0.42
3	HZ21-1 C	0.8035	2.80	26.0	14.28	0.27	0.34	0.015
4	HZ33-1 A	0.8900	37.7	34.0	21.00	0.12	3.75	0.560
5	LF13-1 A	0.8675	21.60	40.0	20.17	0.29	6.70	0.67
6	LF13-1 B	0.8653	16.86	40.0	29.90	0.15	2.00	0.16
7	LF13-1 C	0.8760	14.40	40.0	16.27	0.44	2.43	0.05
8	LF13-1 D	0.8654	15.51	40.0	30.41	0.18	1.70	0.16
9	LF13-1 E	0.8749	16.30	37.0	16.47	0.16	1.50	0.20
10	LF15-1 A	0.9147	94.25	44.0	11.85	1.10	1.56	0.22
11	LF15-1 B	0.8643	22.58	41.0	16.37	0.17	2.81	0.168
12	LF15-1 C	0.9075	91.03	44.0	15.04	0.64	0.850	0.033
13	LH11-1	0.9059	80.14	-2.0	0.00	0.29	3.200	0.080
14	XJ24-1 A	0.8348	4.64	35.0	28.20	0.06	0.79	0.055
15	XJ24-1 B	0.8368	4.83	35.0	43.60	0.05	0.840	0.048
16	XJ24-1 C	0.8227	3.62	32.2	31.00	0.04	0.300	0.035
17	XJ24-1 D	0.8633	8.27	37.8	28.60	0.04	0.540	0.043
18	XJ24-3 A	0.8915	32.16	22.0	15.42	0.08	0.450	0.128
19	XJ24-3 B	0.8639	19.98	42.0	25.28	0.06	0.320	0.030
20	XJ24-3 C	0.8255	5.02	34.0	17.96	0.03	0.220	0.030
21	XJ24-3 D	0.8922	32.00	22.0	17.00	0.07	1.900	0.100
22	XJ24-3 E	0.8639	17.50	39.0	27.20	0.06	0.400	0.100
23	XJ24-3 F	0.8638	15.70	39.0	26.00	0.06	0.600	0.100
24	XJ24-3 G	0.8254	4.75	34.0	23.10	0.03	0.300	0.100
25	XJ34-3 A	0.8473	12.90	39.0	16.70	0.20	1.030	0.113
26	XJ34-3 B	0.8524	12.70	39.0	13.40	0.90	0.940	0.082
27	XJ34-3 C	0.8388	9.70	39.0	15.20	0.07	0.620	0.047
28	ZH5	0.8450	9.80	34.0	26.49	0.21	1.300	0.150
29	ZHU7	0.9297	69.30	-17.0	6.06	0.12	4.000	0.450

至大于4。比值较大的几乎都是惠州凹陷的原油，如HZ21-1和HZ26-1等井（表3），这种特征的原油在中国仅见于辽河等少数油田，与澳大利亚陆相原油的高Pr/Ph比值十分相似^[2]。Pr/Ph比值常作为环境指标，用以反映氧化程度的高低。产于海相和深湖环境的原油该比值都很低，一般皆小于3^[3]。澳大利亚吉普斯兰油田湖沼相煤系生油岩及其原油该比值往往高达5—6^[4]。珠江口原油大部分比值介于这二者之间，表明其既与深湖相有关，又与沼泽相有关。

4. 碳同位素比值低

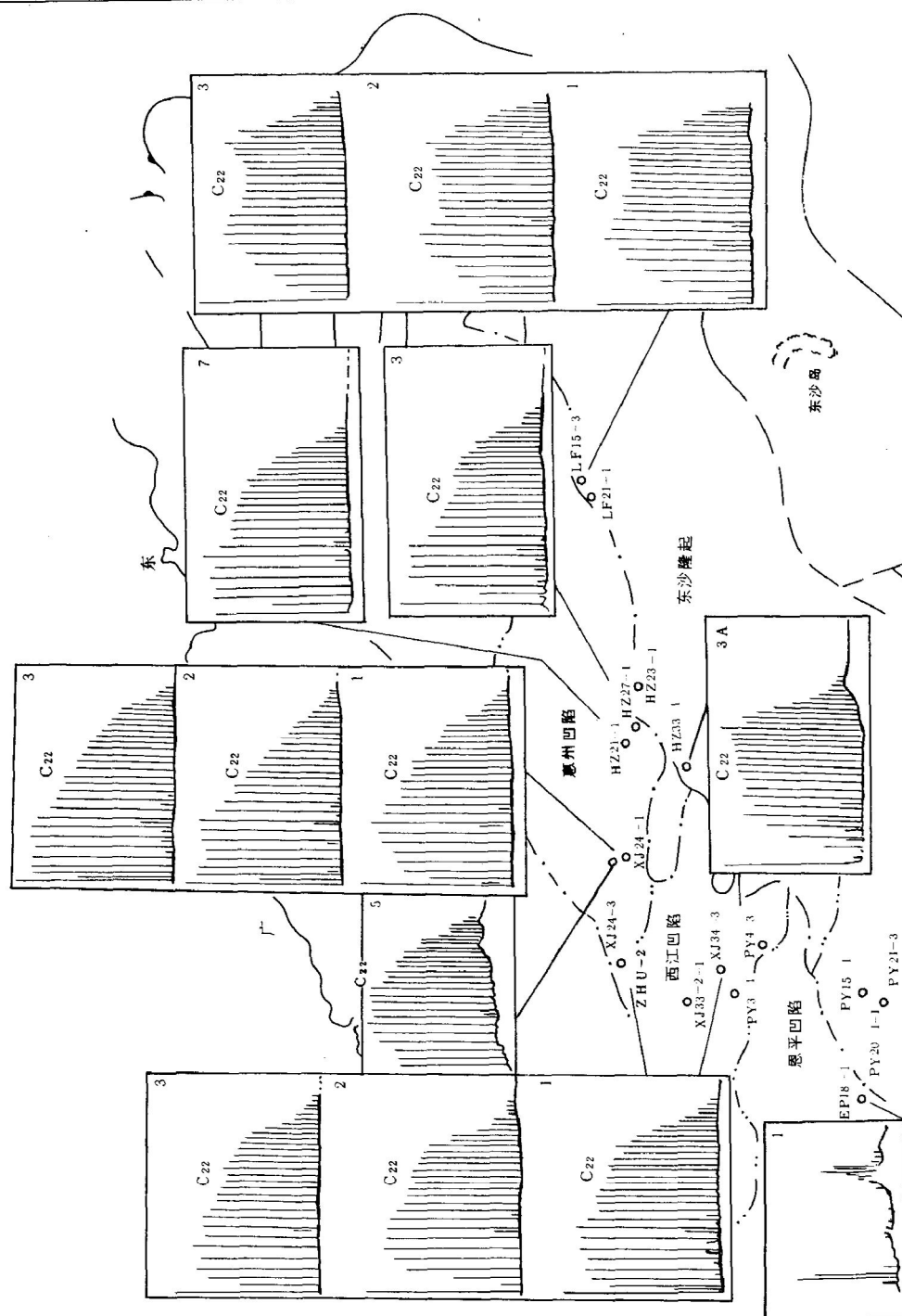


图3 原油饱和和烃气相色谱对比图

一般陆生植物碳同位素较重, $\delta^{12}\text{C}$ 在 -25% 左右, 淡水生物碳同位素较轻, $\delta^{13}\text{C}$ 为 -30% 左右。本区原油 $\delta^{13}\text{C}$ 在 -25% — -29% 左右, 说明有机物为混合型, 既有高等植物的输入, 又有淡水生物的贡献。

5. 陆源植物和淡水藻类生物标志物

(1) 五环三萜烷

表2 珠江口盆地原油色谱分析数据表

样 号	Pr/Ph	Pr/ ΣC_{17}	Ph/ ΣC_{18}	CPI
LF13-1A	1.79	0.50	0.30	0.97
LF13-1B	2.47	0.70	0.30	1.09
LF13-1C	2.23	0.65	0.31	1.09
LF13-1D	2.39	0.59	0.28	1.11
LF13-2A	2.30	0.60	0.30	1.09
LF13-2B	2.70	0.50	0.20	1.09
LF15-1A	2.27	0.59	0.28	1.07
LF15-1B	2.39	0.62	0.28	1.08
LF15-1C	2.17	0.60	0.31	1.08
HZ21-1A	4.56	0.66	0.18	1.10
HZ21-1B	4.23	0.52	0.13	1.05
HZ21-1C	5.54	0.38	0.11	1.10
HZ21-1D	3.77	0.37	0.12	1.12
HZ21-1E	3.90	0.58	0.09	1.14
HZ27-1	2.88	0.40	0.17	1.08
HZ33-1A	3.02	1.07	0.38	1.09
HZ33-1B	4.56	1.65	0.45	1.20
XJ24-1A	3.30	0.35	0.11	1.07
XJ24-1B	3.36	0.36	0.12	0.96
XJ24-1C	3.43	0.28	0.09	1.06
XJ24-1D	3.02	0.35	0.13	1.08
XJ24-3A	1.68	0.59	0.39	1.10
XJ24-3B	2.76	1.22	0.38	1.02
XJ24-3C	3.05	0.33	0.11	1.11
XJ30-2A	2.15	3.83	1.47	1.03
XJ30-2B	2.15	7.25	1.79	1.00
XJ30-2C	2.26	1.07	0.48	1.16
XJ30-2D	2.68	1.43	0.48	1.10
XJ30-2E	2.77	0.75	0.31	1.20
XJ30-2F	2.58	0.78	0.39	1.10
XJ34-3A	3.50	0.35	0.11	1.06
XJ34-3B	3.50	0.35	0.11	1.07
XJ34-3C	3.25	0.37	0.12	1.06
HZ26-1A	5.07	0.52	0.13	1.12
HZ26-1B	6.16	0.41	0.08	1.13
HZ26-1C	4.17	0.39	0.11	1.10
HZ26-1D	3.97	0.39	0.11	1.12
HZ26-1E	4.51	0.33	0.09	1.10
HZ26-1F	4.90	0.33	0.08	1.12
HZ26-1G	4.21	0.36	0.1	1.11
LF22-1	2.80	0.49	0.20	1.08

对原油异构-环烷馏分作色谱分析,以 m/z 191 质量色谱图所揭示的这类化合物中,均含有一定数量的 18 α (H) 奥利烷和 γ -羽扇烷,它们是典型的高等植物的化石分子,同时,惠州凹陷的许多原油中发现有高等植物树脂的衍生物——C₃₀五环三萜烷(X),这种化合物曾在尼日利亚、澳大利亚和印尼的一些陆相原油中检出,被标为 X 或 R、T、W 化合物^[5-7],国内最近也在莺歌海一些与煤系生油岩有关的原油中检测到,并被进一步定名为双杜松烷(图4)。

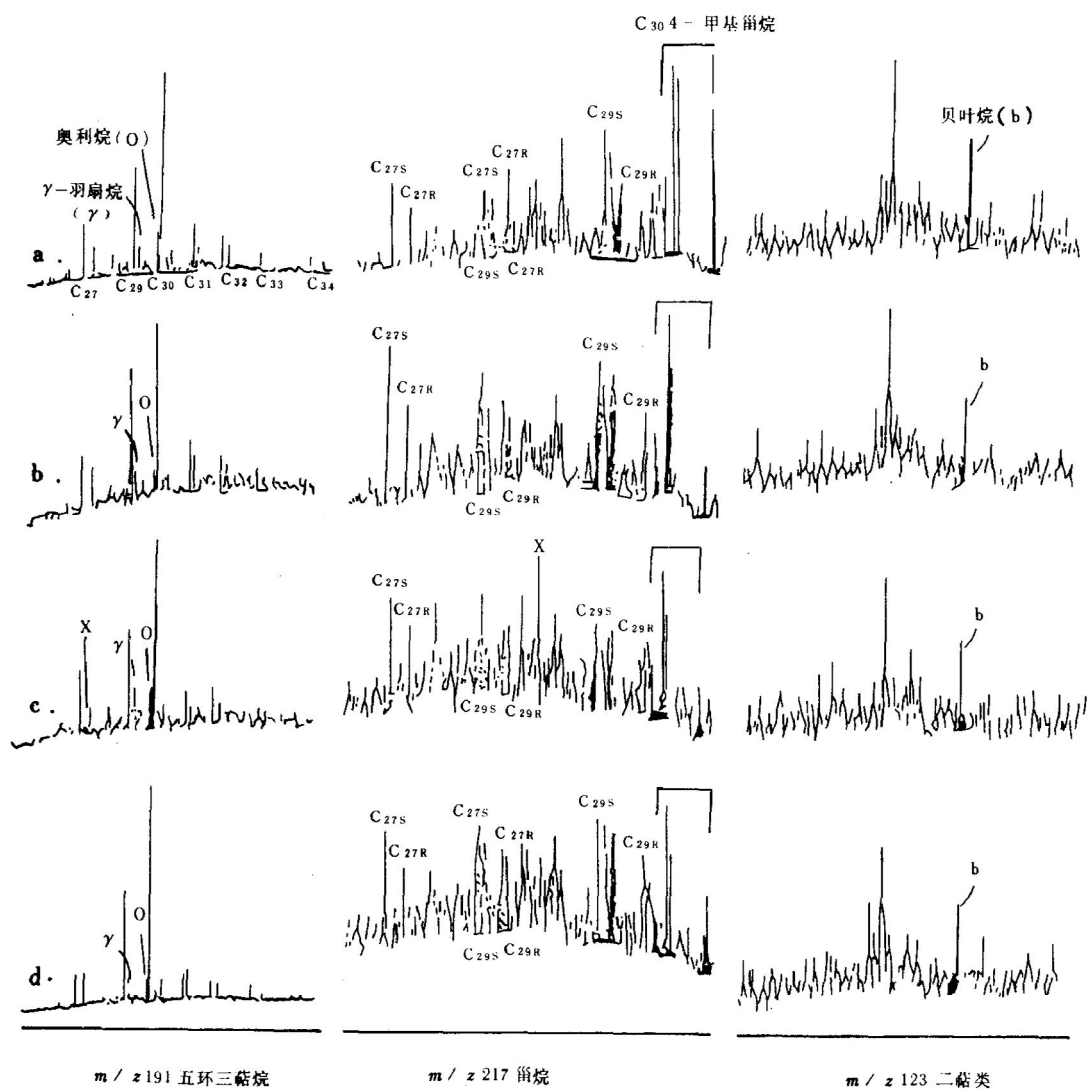


图4 陆相原油的生物标志特征

a—原油 (HZ33-1), b—原油 (LF15-1), c—原油 (XJ24-1), d—原油 (XJ34-3); 图中显示高等植物来源的奥利烷、 γ -羽扇烷、贝叶烷和 C₃₀五环三萜烷 (X), 淡水藻类衍生的 C₃₀4-甲基甾烷

(2) 甾烷

C₂₇、C₂₈和 C₂₉甾烷的相对丰度常用于反映各种生源物的输入比例^[8]。用 m/z 217 质量色谱图鉴定,反映高等植物输入的 C₂₉甾烷占 C₂₇₋₂₉总量的 40%—60%,表明高等植物输入比例占优势,低等水生生物输入的 C₂₇甾烷也占居相当比例。本区原油十分突出的特点是 C₃₀4-甲基甾

烷非常丰富,这类化合物的前身物一般都认为是淡水藻类(甲藻、葡萄藻)。根据GC/MS的分析证明本区原油不含有海相特征的生物标志物 C_{30} 甾烷,因此更说明珠江口原油的确是陆相原油^[9]。

(3) 二萜类化合物 (m/z 123)

许多地球化学家在澳大利亚陆相原油中发现有一组陆源高等植物的标志物,如松香烷、海松烷、贝叶烷和扁枝烷等^[10,5]。珠江口所有原油中也已普遍检测到以贝叶烷为主的这类化合物(图4)。

(二) 主要生油层——文昌组和恩平组

在进行单井地化评价的基础上,对珠江组、珠海组、恩平组和文昌组四套生油岩进行有机质丰度等级的评价(表3),显然只有文昌组和恩平组达到好生油岩的等级。

表3 生油岩有机质丰度对比表

层 组		TOC (%)	A (%)	S_1+S_2 (mg/g)	HC (ppm)
珠江组		0.81	0.0708	1.93	359.9
珠海组		1.00	0.1316	2.01	354.1
恩平组		1.69	0.2408	5.24	1024.4
文昌组	东部	1.61	0.1305	3.68	686.7
	西部	2.05		14.67	2037.0

1. 文昌组

为深一半深湖相泥页岩沉积,不仅有机质丰度高,而且母质类型好,氢指数高达400—800(不熟或低熟生油岩),以 I_1 型为主(图5)。其干酪根组成以无定形和藻质体等成油组分为主,含量高达70%—90%,许多样品因埋深大,已达到较高成熟度,因此是一套性质优异的生油岩。

这套生油岩,象茂名、三水、北部湾和百色盆地所见到的始新统湖相泥岩一样,往往都含有丰富的起源于淡水藻类的 C_{30} 4-甲基甾烷化合物^[11](图6)。从LF13-2构造某井生油岩和同井含 C_{30} 4-甲基甾烷原油的亲缘对比,可看到文昌组生油岩和该原油不仅饱和烃色谱曲线十分相似, m/z 191和 m/z 217(GC/MS)所反映出来的五环三萜烷化合物和甾烷系列化合物的分布也异常相似。这一典型实例和大量的地化证据,表明文昌组泥岩是区内主要的烃源岩。

2. 恩平组

为河湖沼泽相煤系沉积,薄煤层和碳质泥岩的各项有机质丰度指标都大大地高于文昌组;然而,母质类型一般不及文昌组湖相泥岩,氢指数只在200—400的范围,以 I_2 至 I_3 型为主要特征;成熟度仅次于文昌组,比珠海、珠江组高(图5)。干酪根显微组分中镜质组、惰质组含量最高,壳质组、类脂组次之。这套地层中煤层有一定厚度,北部坳陷带30—40m,南部坳陷带也有20m,但单层厚度小,最大仅2m左右。根据初步的热模拟-热解气相色谱分析,煤样生油能力优于某些湖相泥岩(表5)。这一特点必与其组成富含成油物质有关。

由于煤层和碳质泥岩的样品至今未检测到 C_{30} 4-甲基甾烷化合物,所以与它们有亲缘关系的原油应是那些不含或极少含 C_{30} 4-甲基甾烷的一类原油,已在PY33-1-1等油气显示井中发现过,这就证明这类原油可能源于恩平组生油层。在某些油流井中采集到的样品,显示既有

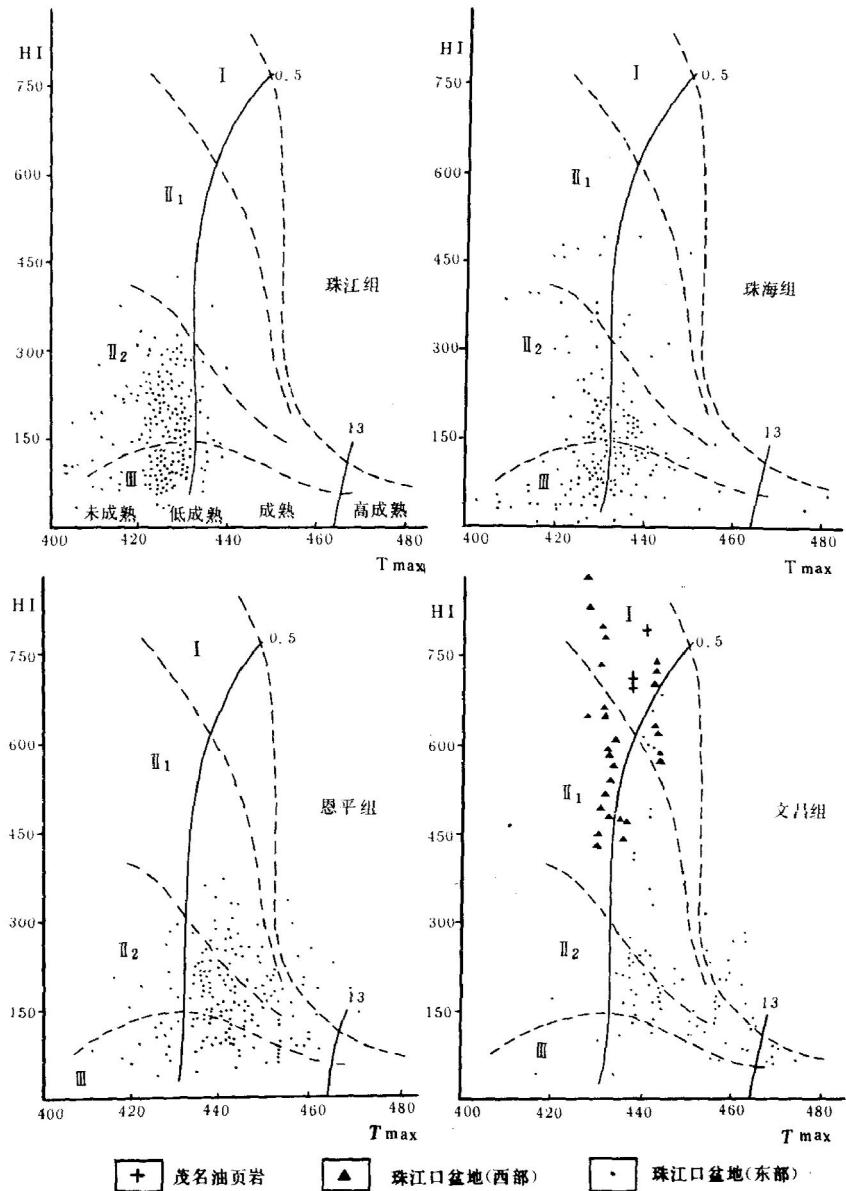


图5 HI-T_{max}关系图

表4 珠江口盆地热模拟产烃量数据表

序号	井号	深度 (m)	岩性	层位	有机碳 C _{org} %	T _{max} ℃	总产 烃量 mg/g	总产气量 ΣQ _g			总产 液量 mg/g	总产液量 占总烃 %	甲烷气 %		氢指数 III mg/g C _{org}	烃降 解率 D _c %
								mg/g	m ³ /t	占总 烃 %			占总 烃	占气 总烃		
1	XJ24-1-1	3260.00-3275.00	煤	珠海组	51.30	437	248.55	15.84	17.10	6.37	232.71	93.63	0.77	12.06	484	40.21
2	EP12-1-1	3631.75	煤	恩平组	68.60	441	236.00	32.97	35.70	13.97	203.08	86.03	3.07	21.96	341	28.57
3	EP12-1-1	3631.5	碳质泥岩	恩平组	49.65	440	160.91	23.89	25.80	14.85	137.02	85.15	2.41	16.24	324	26.90
4	XJ24-3-1	3400.00-3460.00	黑灰色泥岩	恩平组	3.82	434	9.28	2.54	2.70	27.36	6.74	72.64	5.38	19.69	242	20.16
5	EP12-1-1	3461.70	泥岩	恩平组	0.46	435	0.28	0.08	0.09	29.30	0.20	70.70	7.14	25.00	60	5.05

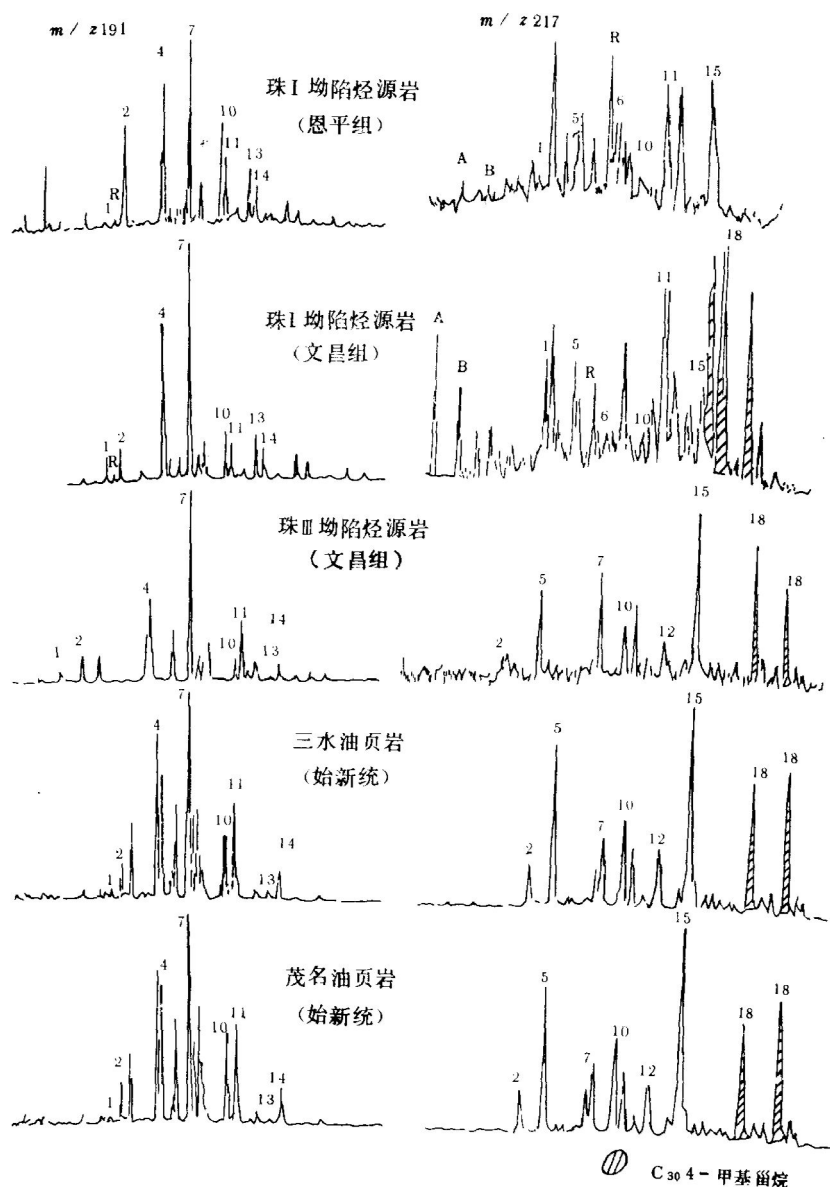


图6 生油岩甾烷、萜烷化合物质谱图

文昌组供油、又有恩平组供油的混源油特征。前面提到的惠州凹陷某些原油就是这种混源油的代表，Pr/Ph 比很高，煤成原油的性质十分明显。

二、排 烃 期

在勘探初期，由于应用盆地数值模拟的研究方法，综合石油地质、地球化学、水动力学和热力学等各方面的信息和数据，通过计算机模拟重现盆地的地质发育史和温度、压力演变史，以及盆地各生油层有机质的成熟演变过程。同时还计算了各生油层的生烃率和生烃量、排烃率和排烃量等重要参数。根据这些计算结果可以获得下述几点认识：

(1) 四套生油层由老到新、由中心到边缘依次成熟相互接替。

(2) 主要生油期始于生油岩的低成熟阶段；不同生油岩主要生油期首尾相接，形成接替供油方式。

(3) 持续排烃，但存在排烃的高峰期，即大量排烃期，各生油凹陷的大量排烃期不同，珠江Ⅰ凹陷在珠江—韩江期，惠州凹陷在韩江期（图7）。

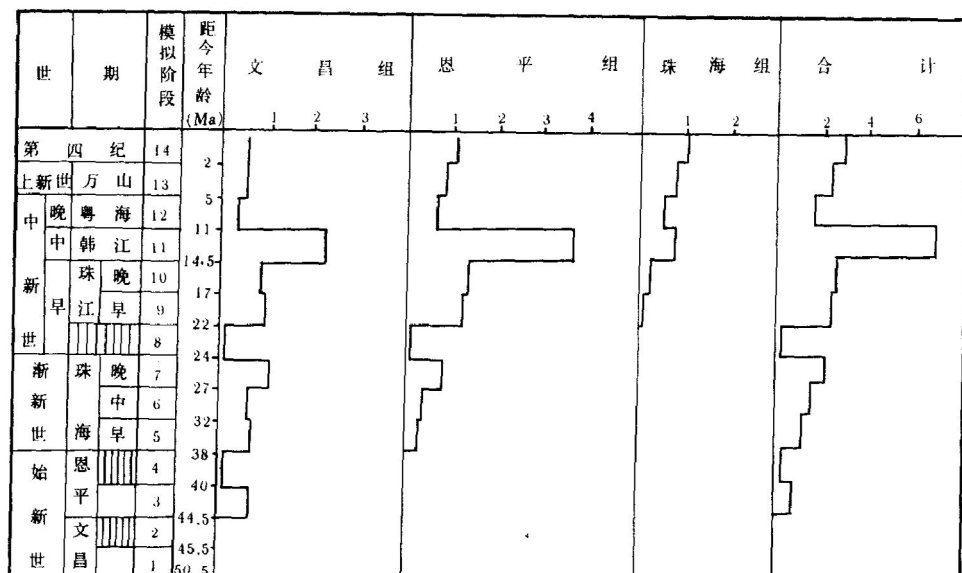


图7 惠州凹陷排油率图

显然，对惠州凹陷而言，大量排烃期恰是在珠江—韩江组区域性海相泥岩盖层形成之后，下部生油岩排出的石油在盖层严密的保护下发生运移和聚集而不易逸散。其烃类的聚集率或聚集系数会比较高。

因此，在这个时期以及早于这个时期之前形成的构造，必定会更有利于捕集油气，这一认识已被勘探实践所证实。

三、油气运移

1. 盆地具备油气长距离运移的地质条件

珠江口盆地石油地质特征之一，是陆生海储。海相的珠海组砂岩在盆地内分布广，厚度大，连通性好，是油气运移的良好输导层。珠江组和韩江组的海相泥岩又广泛分布形成区域性良好盖层，使油气在长距离的输运中不致逸散。主要排烃期的中中新世和晚中新世时，盆地断层活动不强烈，断层封隔作用不明显，因此油气作长距离运移的通道畅通无阻。与此同时，我们在探讨各种可作为油气运移指标的地球化学参数后，发现 Seifert 等人^[12]总结的甾烷运移指标 $C_{29}\alpha\beta 20R/C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$ 在本盆地内的变化十分有规律。由于油气运移过程中 C_{29} 异胆甾烷 ($C_{29}\alpha\beta 20R$) 的运移能力高于 C_{29} 正常甾烷 ($C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$)，该比值的增大方向可能是油气运移的方向。根据这一指标的分析可以确定两个主要的油气运移方向，即 HZ25-2→HZ26-1→HZ33-1→LH4-1→LH11-1→LH11-1E 和 HZ18-1-1→HZ13-2-1→HZ13-1-1→LF15-1-1→

LF22-1-1, 均反映了油气从惠州凹陷和陆丰凹陷向东沙隆起运移。

同时我们尚发现另外一些可能作为运移研究的指标, 如 $C_{30}4$ -甲基异胆甾烷/ $C_{30}4$ -甲基胆甾烷比值也随运移而增大, 说明 $C_{30}4$ -甲基异胆甾烷也具有较高的运移效应。

上述研究结果, 证明了该盆地内的确发生了大规模的较长距离的油气运移, 而它的发生完全受到自身的地质因素所制约。

2. 构造脊是主要的运移通道

地球化学研究所确定的主要运移方向, 恰与石油地质研究确定的重要的构造脊方向完全吻合, 因此推测油气长距离运移的主要通道是继承性的构造脊, 循着这种通道追踪下去可能会发现更多的油气聚集。

3. 隆起区是寻找大油气田的有利场所

位于南北两个大生油凹陷之间的隆起区, 虽然它本身不具备良好的生油条件, 但相邻生油凹陷所生成和排出的石油可能会不断地运移、汇聚到隆起区上来, 因此隆起区应是寻找大油气田的有利场所。

参加本项目研究的有唐振宜和朱滋芳等同志, 李泽松和邹业初等同志也曾给予不少支持。另外, 在工作过程中, 除部分样品在中国科学院地球化学研究所开放实验室分析外, 尚得到该所傅家谟和盛国英等同志许多支持和热情帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Clark R. C., Blumer M., *Limnology and Oceanography*, 1967; 12, 79—87.
- [2] Powell T. G., In: Beijing petroleum symposium, Beijing China, 1984; 40.
- [3] Brooks J. D., In: Ingerson E. ed. *Proceedings of symposium on Hydrogeochemistry and Biogeochemistry*, Washington 1973; Clarke company I, 222—239.
- [4] Shanmugam G., *Bull. AAPG* 1985; 69 (8); 1241—1254.
- [5] Philp R. P., Gilbert T. D., In: *Advances in Organic Geochemistry*, Oxford; Pergamon Journals, 1986; 73—84.
- [6] Grantham P. J., Posthuma J., Badk A., In: *Advances in Organic Geochemistry* 1981; John Wiley, Chichester, 1983; 675—683.
- [7] Thompson S., Cooper B. S., Morley R. J. et al., In: Graham P. J. et al. eds. *Petroleum Geochemistry in Exploration of the Norwegian Shelf*, Norwegian Petroleum Society. 1985; 59—73.
- [8] Huang W. Y., Meinschein W. G., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979; 43; 739—745.
- [9] Moldowan J. M., Seifert W. K., Gallegos E. J., *Bull. AAPG*, 1985; 69 (8); 1255—1268.
- [10] Noble R. A., Alexander R., Kagi, R. I. et al., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985; 49; 2141—2147.
- [11] 傅家谟等, 地球化学, 1985; 2, 99—113.
- [12] Seifert W. K. and Moldowan J. M., *Geochim. Acta*, 1981; 45; 783—794.

STUDY ON OIL AND GAS GENERATION AND EXPLORATION IN EASTERN PEARL RIVER MOUTH BASIN

Chen Sizhong Zhang Minghui Zhang Junda

(Nanhai East Oil Corp., Guangzhou)

Abstract

A lot of physical and geochemical data of crude oils from Eastern Pearl River Mouth Basin show that all the oils are terrestrial-derived ones. The distribution of biomarkers, such as n-alkanes, isoprenoids, steranes, triterpanes and tricyclic terpanes in these oils was studied and lots of special biomarkers which were derived from terrestrial higher plants and fresh algae were discovered. This indicates that they were all sourced by both lacustrine Wenchang Formation mudstone and coaly Enping Formation deposited in Eocene and Eocene-Oligocene terrestrial environment. Wenchang Formation was a good oil source with high hydrocarbon potential and Enping coaly source rock has been proved to be able to generate oil and gas. Both have therefore provided much abundant reserve of the oil and gas. Since many trap structures were formed earlier than main oil and gas expulsion periods, and the source-reservoir-cap rocks in the basin were well combined, the migration and accumulation of the oil and gas were very ideal. The geochemical migration parameters show that the oils found in Dongsha uplift underwent long distance migration. The migratory directions determined by the sterane parameter were coincident with those of important structural ridge, indicating that the oils migrated from oil generating depressions up to the traps in Dongsha uplift along the migratory pathways of the structural ridges, and thus the wide area of the uplift should be the important exploration target for searching big oil fields.