

珠江口盆地东部某单井原油的 地球化学特征研究^①

陈斯忠

(南海东部石油公司)

裴存民 张明辉

(南海地球化学分析研究公司)

提要 本文详细研究了珠江口盆地东部某单井钻遇原油和储层抽提物的地球化学特征结果表明, 该圈闭内的原油均为成熟原油, 它们富含饱和烃馏分而贫极性组分; 位于圈闭上部的原油(埋深2005m及其以上)在地质历史时期曾遭受过轻度的生物降解作用。但是, 由于该圈闭上一条近东西向断层的发育, 使得不同深度间隔内的原油正构烷烃分布特征有着较大的差异, 且降解程度最重的两个顶部原油具有较高的饱和烃含量和热成熟度。充分显示了其混合特征。

关键词 珠江口盆地 原油 生物降解 地球化学特征 断层 改造作用

第一作者简介 陈斯忠 男 56岁 高级工程师 石油地质

原油的地球化学特征取决于两个方面的主要因素, 而生油岩中有机物质输入的类型和原油的后期改造作用, 其中尤以后者对原油的地球化学特征影响最大。因为即使来自同一油源的原油, 在后期遭受不同的改造作用(如生物降解和局部高热烘烤), 也会使得它们具有各不相同的地球化学特征。因此, 准确地判断和认识这些后期改造作用, 对油/油及油/源岩对比研究具有着极其重要的意义。

一、区域地质背景

本文所研究的钻井位于珠江口盆地东部北坳陷一个次级凹陷南部边缘的一个圈闭上。该圈闭被一条近东西向的正断层所切割。对过井地震剖面的研究表明, 该断层在地质历史时期曾有三个主要发充阶段: 始新世末断层开始发育, 至晚中新世末期, 断层开始第二次发育, 到上新世末, 断层再次开始活动。

二、储层抽提物和原油的地球化学特征

采自该井的16个井壁取芯样品全部为砂岩, 故其抽提物具有原油的性质。抽提物同其他6个原油样品一起经族组分分离。全油/抽提物完成了碳同位素分析, 烷烃馏分完成了气

^①参加此项工作的还有沈汝浪、张俊达、朱滋芳。

相色谱分析。考虑到这6个原油分别采自与16个井壁芯相对应的层位，故只对原油的烷烃馏分完成了色谱-质谱分析。

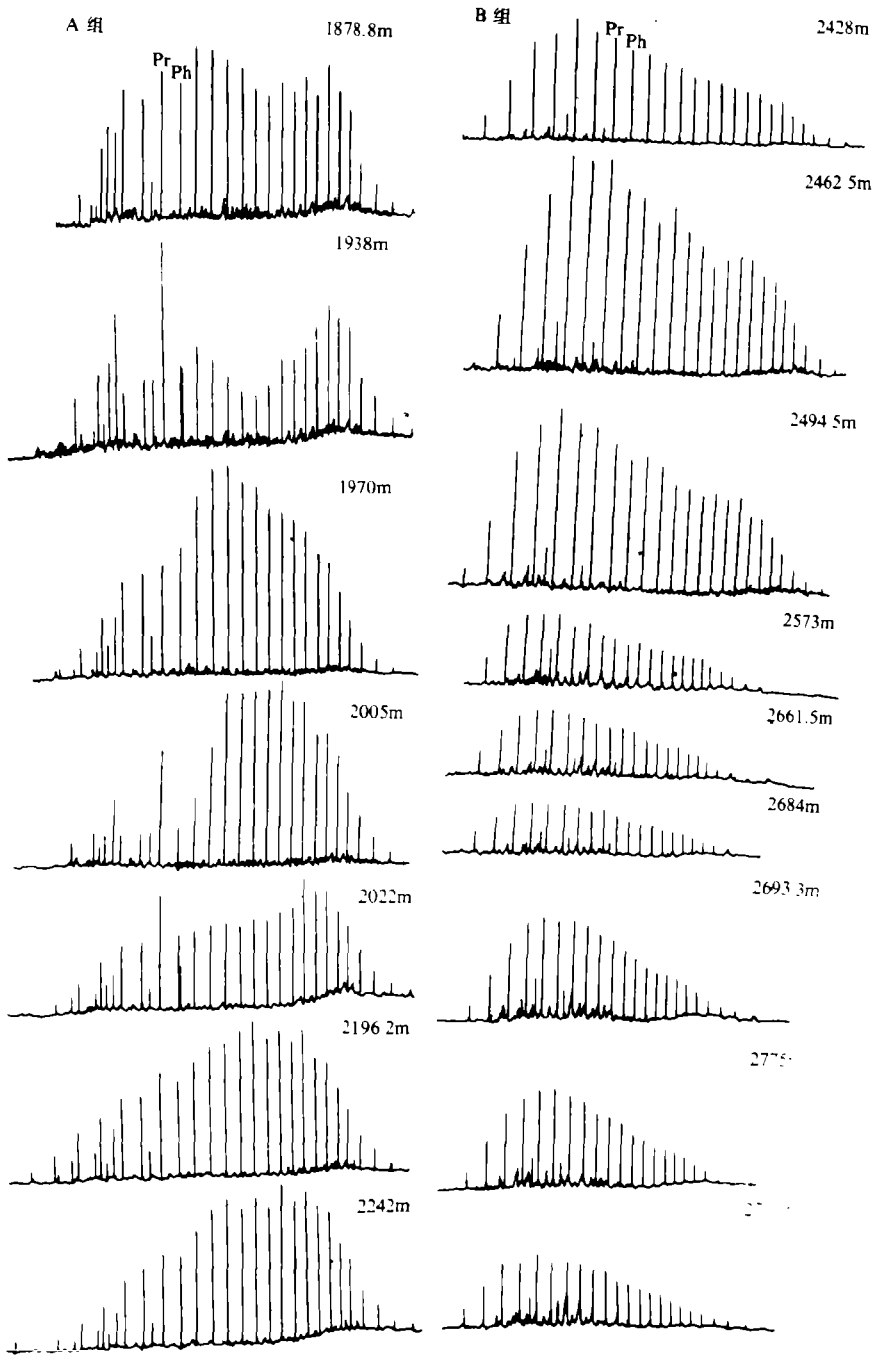


图1 抽提物烷烃气相色谱特征

Fig. 1 GC traces of saturates from the extracts

表 1 抽提物和原油的地球化学参数
Table 1 Geochemical data Summary of ex tracts and Crude Oils

样品性质	深度 (m)	族组成 (%)			烷/芳	CPI	$\frac{Pr}{Ph}$	$\frac{Pr}{n-C_{17}}$	$\frac{Ph}{n-C_{15}}$	$\frac{\sum C_{15}}{\sum C_{17}}$	$\frac{\sum IP}{\sum NHC}$	$\delta^{13}C (‰)$
		烷烃	芳烃	非烃								
抽提物	1878.8	70.55	17.54	4.62	7.29	4.02	1.15	2.06	1.04	0.53	0.11	-27.08
	1938	70.02	15.24	6.70	8.04	4.59	1.12	2.98	2.75	0.83	0.07	-27.55
	1970	71.75	15.16	2.78	10.31	4.73	1.06	2.38	0.97	0.34	0.09	-27.14
	2005	63.34	18.89	5.21	12.56	3.35	1.08	2.88	3.00	0.96	0.03	-27.13
	2022	63.83	16.17	3.52	16.48	3.95	1.09	2.67	1.54	0.58	0.10	-26.50
	2196.2	65.39	18.31	4.94	11.36	3.57	1.12	2.88	0.94	0.34	0.08	-26.92
	2242	65.42	14.77	3.23	16.58	4.43	1.11	3.50	1.13	0.31	0.12	-26.73
	2428	71.02	16.33	3.78	8.87	4.35	1.11	3.20	0.48	0.17	0.28	-26.57
	2462.5	70.51	16.00	4.20	9.29	4.41	1.05	2.83	0.49	0.20	0.20	-26.86
	2494.5	70.00	13.18	3.25	13.57	5.31	1.09	3.03	0.49	0.17	0.33	-27.33
	2573	72.42	14.76	5.05	7.77	4.91	1.07	2.40	0.63	0.31	0.53	-26.57
	2661.5	71.32	15.47	6.15	7.06	4.61	1.12	1.61	0.52	0.38	0.49	-26.55
2664	66.09	13.53	5.63	14.84	4.88	1.06	2.12	0.82	0.43	0.47	-26.49	
2693.5	72.78	11.72	5.47	10.13	6.21	1.04	1.90	0.66	0.37	0.40	-28.11	
2755	73.03	12.58	6.47	7.92	5.81	1.04	1.97	0.67	0.35	0.44	-27.27	
2779	69.38	13.94	6.31	10.37	4.98	1.05	1.94	0.73	0.41	0.45	-27.72	
原油	1936.5	72.37	14.33	3.99	9.31	5.05	1.03	2.15	3.83	1.47	0.07	-26.97
	2005.0	67.99	13.62	5.01	13.38	4.99	1.00	2.15	7.25	1.79	0.03	-27.10
	2190.5	70.92	11.61	6.05	11.42	6.11	1.16	2.26	1.07	0.48	0.75	-26.49
	2242.0	70.19	14.61	4.10	11.10	4.80	1.10	2.68	1.43	0.48	0.39	-27.11
	2429.0	76.61	10.37	3.72	9.30	7.39	1.20	2.76	0.75	0.31	0.65	-26.43
	2662.0	64.90	15.23	6.98	12.89	4.26	1.10	2.58	0.78	0.39	0.36	-26.48

1——正构烷烃总 C15 前比总 C15 后； 2——总类异戊二烯比总正构烷烃； 3——全抽提物或全油碳同位素。

1. 抽提物和原油的族组成、碳同位素及烷烃气相色谱特征。

表 1 总结了抽提物和原油的上述地球化学特征。图 1 和图 2 分别亦出了抽提物和原油的气相色谱图。

由表 1 可见，该井储层抽提物和原油中均富含饱和烃馏分而贫极性组分（非烃+沥青质）。饱/芳比大于 4 表明它们都经历了较高的热成熟作用。

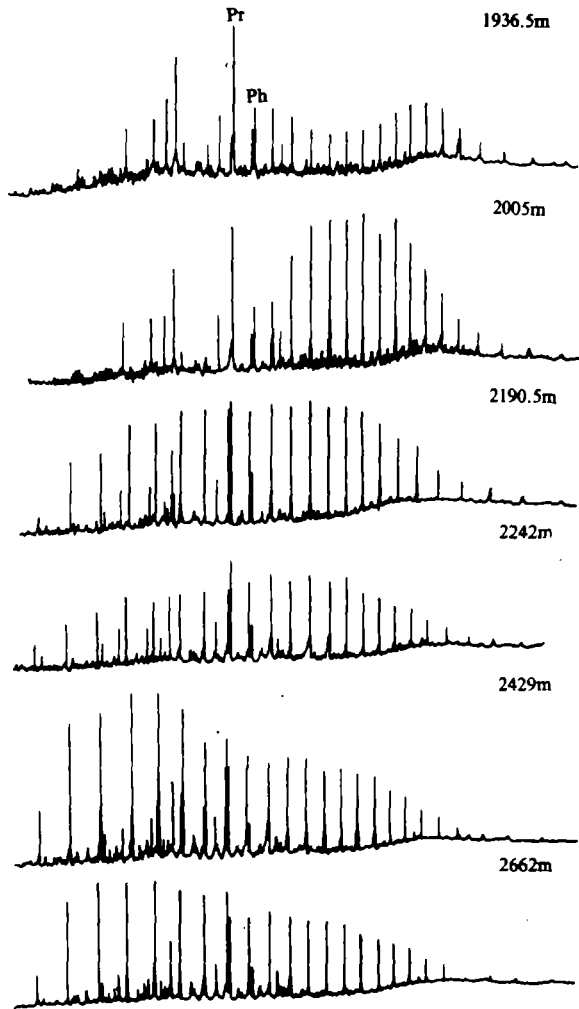


图 2 原油烷烃气相色谱特征

Fig. 2 GC traels of saturates from crude oils

依据抽提物的烷烃气相色谱特征（图 1 和表 1），可以将抽提物分为两组：

A 组 包括表 1 所列深度由浅到深的顺序 7 个样品（图 1）。特点是它们通常缺乏 C_{10} 和 C_{11} 的正构烷烃；CPI 值在 1.06—1.15 之间；主峰碳各异，从 C_{19} — C_{29} ； $\sum C_{15}^- / \sum C_{15}^+$ 小于 0.20。根据碳数分布特点，它们又可以分为三类。第一类包括最浅部的 2 个样品。其正构烷烃分布以中等碳数含量低呈锯齿状为特征，特别是深度为 1938.0m 的样品，较高 \sum

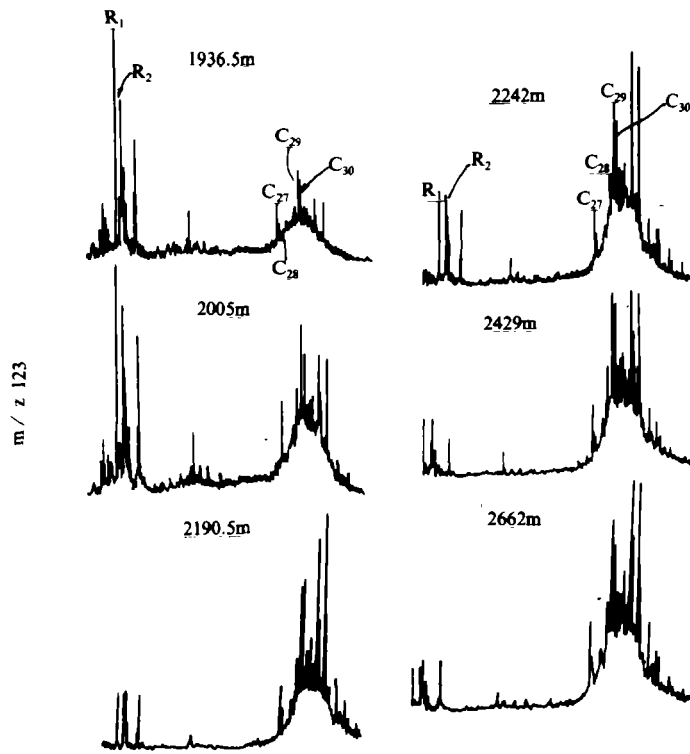
IP / \sum NHC 值 (0.39) 只少可以表明该样品曾遭受一定程度的生物降解作用。第二类包括 1970.0—2022.0m 顺序三个样品，它们以低含量低碳数正构烷烃分布为特点。这种特点也反映了样品曾遭受极其轻微的生物降解作用。第三类包括 A 组下余两个样品，它们以高含量中等碳数正构烷烃分布为特点。这种特点反映了它们属于正常原油。

B 组 包括下余 9 个样品 (图 1)。其主峰碳均为 C₁₅；CPI 值基本都小于 1.1； $\sum C_{15} / \sum C_{15}^+$ 均大于 0.2 (最大可达 0.53)；Pr / n-C₁₇，Ph / n-C₁₈ 均小于 A 组，表明它们的成熟度要高于 A 组，属于高成熟的正常原油。

根据正构烷烃的碳数分布特征及其他参数对比，也可以将 6 个原油样品分为三组，它们分别包括由浅到深顺序的各两上样品。第一组的碳数分布特征类似于抽提物 A 组中第一和第二类，低含量的低碳数正构烷烃分布表明它们曾遭受轻微的生物降解作用。但它们的 CPI 值均为 1.0 附近表明其较高的热成熟度；第二组类似于 A 组抽提物的第二类；第三组则由于它们具有高含量的低碳数正构烷烃而类似于 B 组抽提物。

因此，根据正构烷烃的分布特点，可以将原油和抽提物分为降解和正常两大类，且生物降解作用所发生的深度在 2005.0m 及其以上，油层愈浅，降解作用的程度愈重。

2. 原油烷烃馏分的生物标志化合物特征



R₁, R₂—重排萜满烷;

C₂₇, C₂₈, C₂₉, C₃₀—C₂₇—C₃₀8, 14—断藿烷

图 3 二、三环萜及 8, 14—断藿烷的质量色谱图

Fig. 3 Fragmentograms of bicyclic, tricyclic terpanes and 8, 14-Secohopanes

图3列出了原油中二环、三环萜烷(m/z123)的质量色谱图。由图可见,原油中的二环萜烷以重排锥满烷(R_1 和 R_2)为主。Noble(1986)认为,重排锥满烷是由于二环萜受到粘土矿物的酸性催化作用而形成的。该反应平行于甾烷向重排甾烷转化的反应,且重排锥满烷相对于锥满烷的丰度随热成熟度增加而增大。因此,6个原同样品中均检出较丰富的重排锥满烷,表明它们曾经历了较高的热力作用。此外, C_{27} — C_{30} 断萜烷系列化合物的检出为这一认识也提供了进一步的证据。

原油中饱和烃馏分的GC/MS分析还表明,原油中的萜烷系列化合物以 C_{30} 萜烷含量最高,且普遍存在有奥利烷,而甾烷化合物中以具有24-乙基构型(裴存民等,1991)¹的 C_{30} 4-甲基甾烷为最。奥利烷的发现,证明了原油的陆相成因,而4-甲基甾烷的优势,说明了这些原油的生源层中富含藻类有机质。此外,根据Moldwan(1985)提出的 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 甾烷化合物相对含量三角图判断生油岩沉积环境的结果也进一步证明了这些原油的陆相成因特点。

此外,根据原油中甾、萜化合物分布所计算的热成熟度参数(表2)也证明了这些原油均已成熟,且最上面两个原油的成熟度最高。

三、断层发育对圈闭内原油富集规律的影响及对原油的改造作用

仔细研究表1的结果还可以发现,尽管根据Bailey等(1973)、Reed(1977)、Volkman等(1983a和Alexander等(1983b)的研究结果,圈闭内上部的原油或抽提物(2005m及其以上)仅遭受轻微的生物降解作用,但它们并没有由此而富含极性组分。恰恰相反,它们不仅富含饱和烃馏分,而且具有较高的热成熟度和较轻的碳同位素组成,这一点与底部原油相同,为什么?

从区域地质特征来看,由于该井位于断层的一个盘上,断层的发育一方面为油气的运移提供了通道,与此同时,也破坏了油气正常的富集规律进而改变了圈闭内油气的地球化学特征。

对该圈闭沉积和构造发育史的恢复表明,在断层发育的第一阶段,由于向盆地中心方向的生油岩埋深较浅,尚未开始生油,随着沉积作用的继续,生油岩埋深增加,至晚中新世末期,断层开始第二次活动,与此同时,向盆地中心方向的生油岩趋于成熟而开始排烃,这些烃类沿断层运移至上伏砂岩中储集起来。但当时由于上部储层的最大埋深只有1400m左右,而原油在储层中可以发生生物降解作用的最高温度为77℃(Phillipi,1971),故这些原油由于埋深较浅而遭受了不同程度的生物降,其严重程度自上而下(1878.8—2022.2m)减弱,造成了不同程度的低碳数正构烷烃的丢失。但是,由于于上新世末期断层的再次活动,使得下伏底部的成熟度高,碳数低,同位素轻的原油沿断层向上运移,但本次断层活动不太剧烈,垂向运移烃的量就较小。由于差移性聚集,使得这些垂向运移烃优先充填在最浅处(1878.8和1938m)的油藏中而与原储于该油藏内已遭生物降解的原油进行混合,造成了它们既具有生物降解的特征而又富含低分子量正构烷烃,具有较高的热成熟度和较轻的碳同位素组成,表2的运移指标 C_{29} 甾烷 $\beta\beta R/\alpha\alpha R$ 及 C_{27} 重排甾烷的含量均可以证明它们曾

¹裴存民等,1991,珠江口盆地 C_{30} 4-甲基甾烷的研究(待发表)。

经历过长距离运移。此外, 抽提物和原油族组成分析结果(表1)也可以充分证明这一点。

表2 原油甾、萜化合物参数

Table 2 Steroid and terpenoid parameters of oils

深度 (m)	萜 烷					甾 烷		
	$\frac{Bicy}{Hop}$	$\frac{T_s}{T_m}$	$\frac{22s}{22R} C_{31}$	$\frac{22s}{22R} C_{32}$	$\frac{22S}{22R} C_{33}$	$\frac{BBR}{aaR} C_{29}$	C_{2-dia} (%)	$\frac{20s}{20s+20R}$
1936.5	1.69	1.22	1.18	1.39	1.43	2.20	9.36	0.53
2005	0.67	1.10	1.23	1.53	1.49	1.95	8.38	0.59
2190.5	0.09	0.88	1.08	1.32	1.49	1.75	4.45	0.53
2242	0.15	1.06	1.02	1.41	1.58	1.55	2.51	0.56
2429	0.10	0.83	1.09	1.43	1.56	1.67	3.75	0.57
2662	0.07	0.95	1.28	1.31	0.99	1.91	4.15	0.55

Bicy / Hop: 二环萜与三萜烷的强度比

四、结 论

通过以上讨论, 可以取得以下几点认识:

1. 储层抽提物和原油的族组分分离结果表明, 它们均富含烷烃馏分而贫极性化合物。
2. 烷烃气相色谱分析结果揭示, 该圈闭内上部(2005m及其以上)原油曾遭受轻度的生物降解作用, 且该作用的剧烈程度自下而上增加; 而其下部则为正常原。
3. 所有的成熟度参数均表明该井原油为成熟原油, 且虽然顶部原油遭受生物降解的程度较为剧烈, 它们仍具有最高的成熟度。造成这一成熟度差异的主要原因是由于该圈闭上断层在地质历史时期的连续发育, 使得下伏储层中成熟度高、重量轻的原油沿断层垂向运移, 由于差异性聚, 它们尤先在最顶部的油藏中聚集而与原来的降解原油发生混合所致。

参 考 文 献

- (1) Alexander R. et al., 1983b, A.P.E.A., Vol.23, No.1, p.53-63.
- (2) Bailey N.J.L. et al., 1973, chem. Geo., Vol. 11, No.2, p.203-210.
- (3) Moldwan J.M., 1985, Geochim cosmochim Acta, Vol.48, No.12, p.2767-2780.
- (4) Noble R.A., 1986, A Geochemical study of Bicyclic Alkanes and Diterpenoids Hydrocarbons in Crude Oils, Sediments and Coals, Ph.D.Thesis.
- (5) Phillipi G.T., 1977, Geochim cosmochim Acta, Vol.41, No1, p.33-52.
- (6) Reed W.E., 1977, Geochim Cosmochim Acta, Vol.41, No.1 p.237-247.

An Investigation on Geochemical Features of the crude oils from Well in Pearl River Mouth Basin

Chen Sizhong

(Nanhai east oil Corp., CNOOC)

Pei Cunmin Zhang Minghui

(Nanhai Geochemical Research Co. Ltd.)

Abstract

The geochemical characteristics of extracts from the crude oils and reservoir bed taken from a well drilled in Pearl River Mouth Basin (PRMB) were investigated in detail. The trap on which the well was drilled was cut by a sub-EW direction normal fault. And study of the seismic section passed the well revealed that the fault has ever had three main developments.

Fractionation results indicated that both the crudes and the extracts were richer in saturates (63.34–73.03%) and poorer in polar fraction (non-hydrocarbon+asphaltene, 11.31–20.43%). And saturate to aromatic ratios being larger than 3 (the maximum up to 6.21) suggested their higher rank of maturation level.

GC patterns of the saturates showed that there are two major types of crudes in the trap. One is minor biodegraded, which occurred in the upper section (2005m and its above), and the other was normal, which distributed in the lower section (below 2005m). Furthermore, because of the injection of the oil with much higher maturity and lower molecular weights the top two ranked the highest maturity of the biodegraded oils, thus their n-alkane carbon number distribution appeared saw-toothed shape. Therefore, the biodegraded oil can in turn be divided into two sub-types: mixed vs. non-mixed.

GC/MS analyses for the saturates confirmed that the crudes have ever experienced higher geotemperature due to the discovery of diadrimanes and 8, 14-secohopanes. And the presence of oleanane implied the terrestrial origin of the oils while the dominant C₃₀-4-methyl steranes in the sterane kingdom revealed enriched algal organic input in the source rocks.

The fault development survey revealed that the essential cause responsible for the varying geochemical features of the upper biodegraded oils was resulted from the reaccumulation of the oils in the trap. The development of the fault resulted in the escaping of the underlying highly mature crudes from their initial reservoirs and immediately migrating upward along the fault. They favorably entered the shallowest reservoirs owing to differential accumulation, resulting in the ever-biodegraded oils upgraded their maturity and enriched in lighter carbon isotope composition and lower molecular weight n-alkanes because of mixed with the reaccumulated hydrocarbons.