

技术与应用

松辽及其他陆相盆地生油岩地球化学的基本特征

何志高

(地质部石油地质中心实验室)

松辽盆地生油岩的研究。从五十年代开始,随着石油普查探勘的深入和发展,相应地由发光沥青分析及沉积环境的氧化—还原指标分析,逐步发展为近代生油岩理论和方法的研究。二十多年来,积累了大量的资料,同时,随着全国其他陆相盆地生油岩研究的开展,对松辽盆地生油岩特征的认识也更加深入。

陆相生油岩有机质丰度、沉积环境指标等方面的研究,许多作者已发表过很好的文章,在此不再作过多的阐述。本文主要侧重于有机物质的组成及其含量与变化规律等方面的探讨,并归纳为六个基本特征。

一、沥青族组份特征—— 低芳烃

陆相生油岩沥青族组份有一个基本特征,即比较低的芳(香)烃含量。过去,这一特征在颇大程度上由于分析方法上的问题被掩盖了。现在,对分析结果进行校正,低芳烃特征得到显示,给人们陆相生油岩族组份的整体面貌有了一个新的认识。

松辽盆地和泌阳凹陷等生油岩族组份资料列于表1。表中凡同一个样品有两栏

数据者,第一栏是现行分析方法获得的分析结果,主要条件是60°C恒重;第二栏是对柱色层(氧化铝—硅胶)分离时非烃混入芳烃进行校正之后的结果。校正是采用紫外光谱与红外光谱相结合的方法,其中红外光谱以定性判断为主,紫外光谱进行定量估计。当然,这种估算具有一定误差,但根据多年实践,大量的样品分析及世界原油特征分析,证明这种估算基本可行*。

从表1可见,我国陆相生油岩沥青中,芳烃含量(本文都是指校正后的结果)是比较低的,一般均低于10%。松辽盆地生油岩约2—9%,平均约6%;泌阳生油岩介于3—7%之间,平均约5%;渤中以深度大于2500米岩样作统计,芳烃含量介于2—9%之间,平均也是5%。

此种生油岩沥青的芳烃含量特征,与原油进行比较基本对应。例如大庆原油,汽油馏份的芳烃含量约5%,煤油馏份约10%,柴油馏份稍高,约10—15%,原油总平均10%,略高于生油岩样。

关于生油岩样沥青芳烃略低于原油中芳烃的问题,可从实验室的抽提条件、氯仿与原油的极性差别去推论。有关这方面的资料指出:抽提时被氯仿优先抽提出来的沥青中,饱和烃与芳烃较多,非烃加沥

* 参考石油地质中心实验室《石油地质实验基础》1978。

表 1

松辽、泌阳等地沥青族组份资料表

地区 井名	井深 (M)	岩性 时代	有机碳 %	校正 栏	氯仿沥青 %	饱和烃		芳 烃		非 烃		沥 青 质		饱和烃 芳 烃
						%	mg/gc	%	mg/gc	%	mg/gc	%	mg/gc	
莎 126井	801.6	泥岩K	3.40	1	1.54	45.3	9.0	4.34	2.0	60.3	27.2	15.5	7.0	8.2
				2	$\times 10^{-1}$			2.39	1.1	62.3	28.2			
古 16井	1906.5	"	0.52	1	2.81	54	34.0	16.28	8.8	2.3	1.3	18.6	10.0	6.9
				2	$\times 10^{-2}$			9.13	4.9	9.5	5.1			
太 7井	1326	"	0.83	1	1.55	188.7	89.6	12.84	23.3	32.2	60.0	7.4	13.7	7.0
				2	$\times 10^{-1}$			6.86	12.8	37.8	70.5			
古 15井	1754.3	"	0.47	1	2.88	61.3	26.3	15.00	9.2	29.6	18.1	12.5	7.7	5.3
				2	$\times 10^{-2}$			8.25	5.0	36.3	22.2			
芳 3井	1462	"	0.41	1	1.77	43.2	16.4	9.00	3.9	39.7	17.1	13.3	5.7	7.5
				2	$\times 10^{-2}$			4.95	2.2	43.7	18.8			
太 7井	1698.5	砂质 泥岩	13.45	1	1.37	126.4	52.5	16.57	21.0	25.5	32.2	16.4	20.7	4.6
				2				9.11	11.4	33.0	41.6			
泌 1井	1735	灰色 页岩	1.90	1	2.08	109.4	33.6	14.75	16.3	30.7	33.6	23.9	26.2	7.0
				2	$\times 10^{-1}$			4.42	4.8	41.0	44.9			
下 洲 131井	1606	砂质 泥岩	2.32	1	7.2	310.4	99.9	14.74	45.8	49.8	154.6	3.26	10.1	6.8
				2	$\times 10^{-1}$			4.71	14.6	59.9	185.8			

续表 1

地区 井名	井深 (M)	岩性 时代	有机碳 %	校正 栏	氯仿 沥青 % mg/gc	饱和烃 % mg/gc		芳 烃 % mg/gc		非 烃 % mg/gc		沥 青 质 % mg/gc		饱和烃 芳 烃		
						%	mg/gc	%	mg/gc	%	mg/gc	%	mg/gc	%	mg/gc	%
双一七 16 井	1995.2	泥岩 E	1.66	1 2	6.43 $\times 10^{-1}$	387.3	42.3	163.7	15.75	61.0	24.0	92.8				
									3.30	12.8	36.4	141.0	18.03	69.7		
双一五 232 井	2302.8	"	1.23	1 2	2.45 $\times 10^{-1}$	199.2	52.8	105.2	16.23	32.3	19.3	38.3				
									6.49	12.9	29.0	57.8	11.7	23.3		
渤 13-1井	1632-1635	"	0.06		4.2×10^{-2}	700	34.2		0.98	63.9		0.97				
"	3202-3204	"	0.21		7.8×10^{-3}	37.1	41.9	15.6	3.6	45.5	16.9	10.0	3.7			
"	3499	"	0.52		7.4×10^{-2}	142.7	41.5	59.2	8.4	32.4	46.3	17.7	25.2			
"	3500	"	1.44		1.9×10^{-1}	131.9	37.1	48.9	8.2	36.5	48.2	18.2	24.0			
"	3907	"	1.25		2.2×10^{-1}	177.6	61.0	108.3	5.5	18.7	33.2	14.8	26.3			
"	3910	"	1.27		2.37×10^{-1}	186.6	60.6	113.1	3.8	15.3	28.6	20.3	37.9			
"	4113	"	1.66		5.96×10^{-1}	359.0	82.1	294.7	1.36	7.2	26.0	9.4	33.6			
"	4117	"	1.92		6.82×10^{-1}	355.2	79.2	281.2	4.7	6.6	23.4	9.6	34.0			
黄浦-7	574	"			1.55×10^{-1}		9.3		1.6	79.8		9.2				
东 64	1070	"			2.03×10^{-2}		24.9		1.9	79.1		7.7				
东 53	2703	"			1.98×10^{-1}		41.5		5.1	49.4		4.2				

(样品分析: 石油地质中心实验室)

青质较少，随着抽提时间的增长，非烃比例逐渐增高，芳烃比例相应降低。同样，原油从生油岩运移过程中，也存在这种对应的溶解过程，非烃相对较多的留在生油岩中，这就造成了原油中芳烃高于生油岩中的芳烃。另外，表1中岩样的非烃、沥青质的含量与原油进行比较，亦可证明这点。例如：大庆原油的非烃加沥青质低于20%，而表1生油岩样的非烃加沥青质将近50%。对于这个问题，如果把分析方法以及其它问题（诸如低沸点馏份损失程度的差别以及地质过程中的岩石吸附等）都考虑进去，也不会影响这种推论的可靠性。

陆相生油岩沥青中芳烃含量较低是仅对海相而言。很多资料表明，海相的原油和生油岩，其芳烃含量通常远远高于陆相。例如Yolande Califert所取原油，芳烃含量达27.3%；我国苏南句容海相原油芳烃含量为17%；四川海相原油及生油岩（碳酸盐岩）芳烃含量也较高，个别样品可达30%；湘中下石炭统海相原油（油苗）芳烃含量大于15%。陆相生油岩的低芳烃特征，无疑与陆源有机物质的类型及其生油条件相关，从理论和实践上对这一特征进行研究显然具有重要意义。

二、沥青中的烃类与非烃之间的函数关系

研究指出，沉积物随埋深的增加，除了不溶有机物—干酪根不断生成各种烃类外，原来已经生成的非烃也在不断转化为烃类。而且这种非烃与烃之间的关系，在族组份上呈现明显的函数关系。（图1）

图1表1可见，随着深度增加，非烃含量减少，烃类含量增高。在未成熟阶段，非烃在族组份中含量很高，约50—80%；

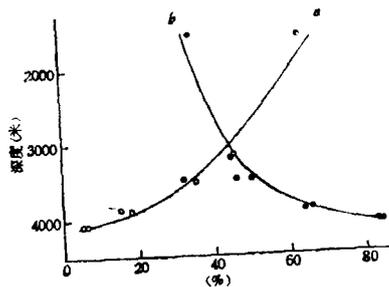


图1 烃类与非烃组份关系图

a. 烃 b. 非烃

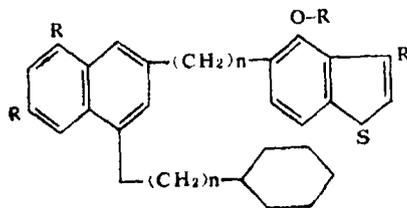


图2 非烃结构式图

(С.Р.Сергиенко И А.Ф.Добрянский)

在成熟阶段，非烃变化范围约50—10%。有机物生成非烃的效率（毫克非烃/克有机碳），其值有两个不同方向的变化区间，前一个区间由低到高，后一个区间由高到低。由于非烃结构（图2）是不稳定的，随着埋深、能量的增加而分解成烃类。因此可以认为非烃的两个变化趋势中，由低到高是干酪根生成非烃的反映，由高到低是非烃进而生成烃类的过程。

三、正构烷烃特征

1. 正构烷烃主峰碳数的稳定性及其变化规律

图3、4、5是松辽、泌阳、渤中等地生油岩样饱和烃色谱图。其中，松辽盆地正构烷烃主峰碳数大多在C₁₉、C₂₁；泌阳盆地由于高含环烷烃和异构烷烃的衬

托, 正构烷烃的谱图呈现畸形, 其实主峰碳数也大多是 C_{19} 、 C_{21} ; 渤中凹陷、陕甘宁盆地与松辽盆地基本一致。

结合原油的的色谱分析, 原油的色谱图存在两个高峰群带, 前一个为低碳数的高峰群, 主峰在 C_9 左右, 后一个高峰群就是 C_{19} 、 C_{21} 。因此, 可以认为我国陆相生油岩具有相近的色谱主峰, 换句话说, 正烷烃主峰碳数具有相对的稳定性。

主峰碳数除了相对的稳定性外, 也有部分样品存在前推或后移。成熟度比较低的生油岩样, 主峰碳数后移, 例如苏北油田成熟度低的阜宁组一些生油岩样主峰碳数为 C_{25} , 也有 C_{27} , 还有一些有机质含量较低的砂岩或泥质砂岩样品, 可见到 C_{27} 的主峰, 如渤中凹陷 2700 米的砂岩(图 5); 主峰碳数前推的, 原油中比较常见, 有的演化程度较深的生油岩样, C_{19} 以前的色谱峰相当强烈。这些样品若降低恒温度, 低碳数的主峰就会显示出来。

很多资料表明, 主峰碳数前移者, 碳数有奇有偶, 以偶居多; 主峰碳数后移者, 只有奇数, 而无偶数。有相当多的一部分谱图, 表现是偶数碳主峰, 例如苏北的一些样品, 主峰为 C_{28} , 实际上真正的主峰并非 C_{28} , 而是 C_{27} 。 C_{28} 的主峰是一种分析上假象, 由谱图的分离形态即可判断。

2. 重正烷烃奇碳数优势

前述, 主峰在 C_{21} 以后的样品, 该主峰碳数只有奇数而无偶数, 也就是重正烷烃的奇碳数对偶碳数具有明显的优势。不过, 这里讨论的“优势”, 包括两个概念: 一是对奇偶两类碳数化合物的含量而言, 即两类化合物在含量上奇碳数之和高于偶数之和; 二是对该两类化合物的变化趋势而言, 即随重正烷烃碳数的增加, 含量或峰高下降的总趋势中, 奇碳数化合物含量的下降趋势或变化率较小, 偶碳数化合

物下降趋势较大。

这两个概念可分别以数学式表示:

$$\sum_{i=11}^{2K-1} S > \sum_{i=11}^{2K} S \quad (i=11, 12, \dots, 15) \quad (1)$$

$$\left| \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_O \right| > \left| \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_E \right| \quad (O - \text{奇碳数}, E - \text{偶碳数}) \quad (2)$$

从图 3、4、5 可见, 这种奇数优势的强弱及其变化与岩性有关。渤中凹陷 2700 米深的泥质砂岩(有机碳为 0.16%), 除 C_{27} 特高外, 其他奇碳数如 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{29} 、 C_{31} 也都很高。剖面中, 凡含砂量愈高, 有机碳含量又低的样品, 奇碳数优势愈加明显。

奇碳数优势的变化, 还与生油岩的演化程度有关。例如, 同样是渤中凹陷的泥质砂岩(有机碳 0.2%), 当深度达到 3200 米时, 奇碳数优势显著减弱, 至 3500 米时, 又进一步减弱。(图 5)

3. 正构烷烃的含量随演化加深而增加

表 2 的资料可见, 同一地区, 在可对比的深度上, 不同的样品随深度加深正构烷烃含量增加。例如, 松辽盆地浅层的样品, 深度 801 米正构烷烃约为饱和烃的 18.2%, 深度 1300—1500 米时, 饱和烃中正构烷烃含量可达 28%, 泌阳以及渤中凹陷的资料也有类似的规律。表 2 中正构烷烃的数据来自色谱半定量分析, 虽误差较大, 但作为相对大小的比较依据还是可行的。

四、异构烷烃特征

本节仅讨论目前研究得比较充分的类异戊二烯烷烃中的姥鲛烷和植烷, 而不涉

及其他异构烷烃。

1. 姥鲛烷和植烷在饱和烃中相对含量，主要取决于演化程度；其绝对含量则取决于母质类型。

在我们研究的样品中（表2、图3、4、5），泌阳凹陷的母质类型优于松辽盆地

和渤海中凹陷，而演化程度则松辽盆地高于其他盆地（或凹陷），它们各自的姥鲛烷和植烷的相对含量与绝对含量的规律正与各自的地质条件相对应。泌阳凹陷姥鲛烷加植烷的含量即 $P_1 + P_2$ 的mg/gc值可比松辽高4—10倍。在同一盆地内，母质类型

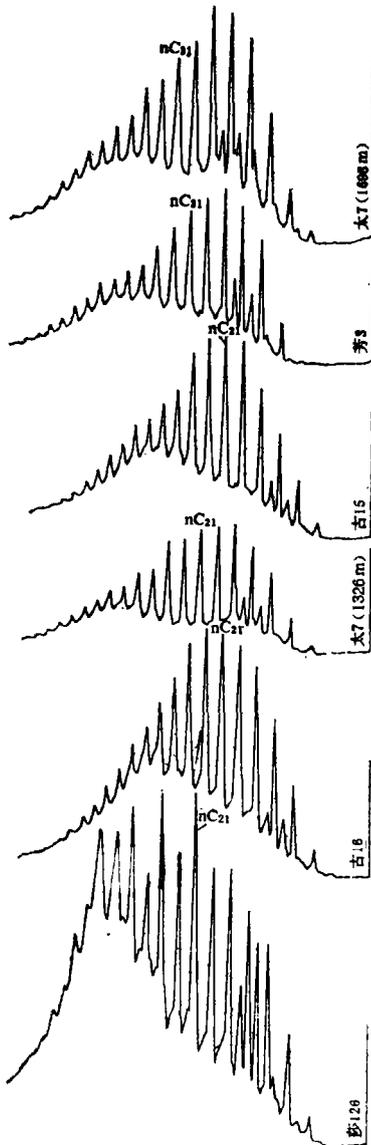


图3 松辽盆地饱和烃色谱图 (sp-105无机盐柱)

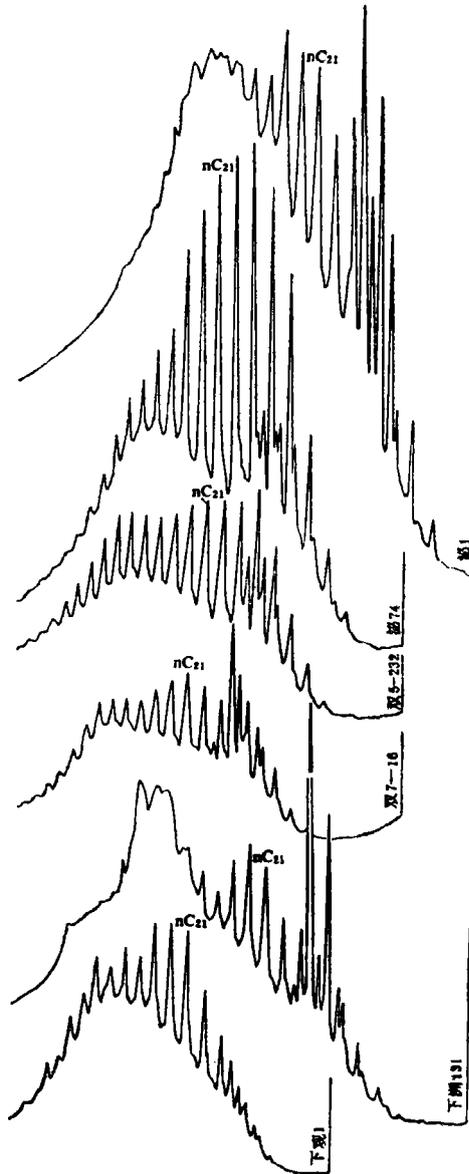


图4 泌阳凹陷饱和烃色谱图 (sp-105无机盐柱)

愈好绝对含量愈高，演化程度愈浅，相对含量愈高。此外，在砂质岩中显示出姥鲛烷与植烷特别高的含量（图4中的下洲131井样品）。

鉴于这些特征，作者认为，将姥鲛烷和植烷的生成解释为早期生成的烃类，属生物标记化合物，对我国陆相生油岩的地

球化学具有实际意义。

2. 植烷与姥鲛烷的比值 (P_1/P_7)，与母质类型关系密切。很多资料表明，凡是母质类型好的，比值均大于1，即植烷大于姥鲛烷。该比值与芳烃结构分布指数等红外光谱以及干酪根元素分析等资料都具有良好的一致性。

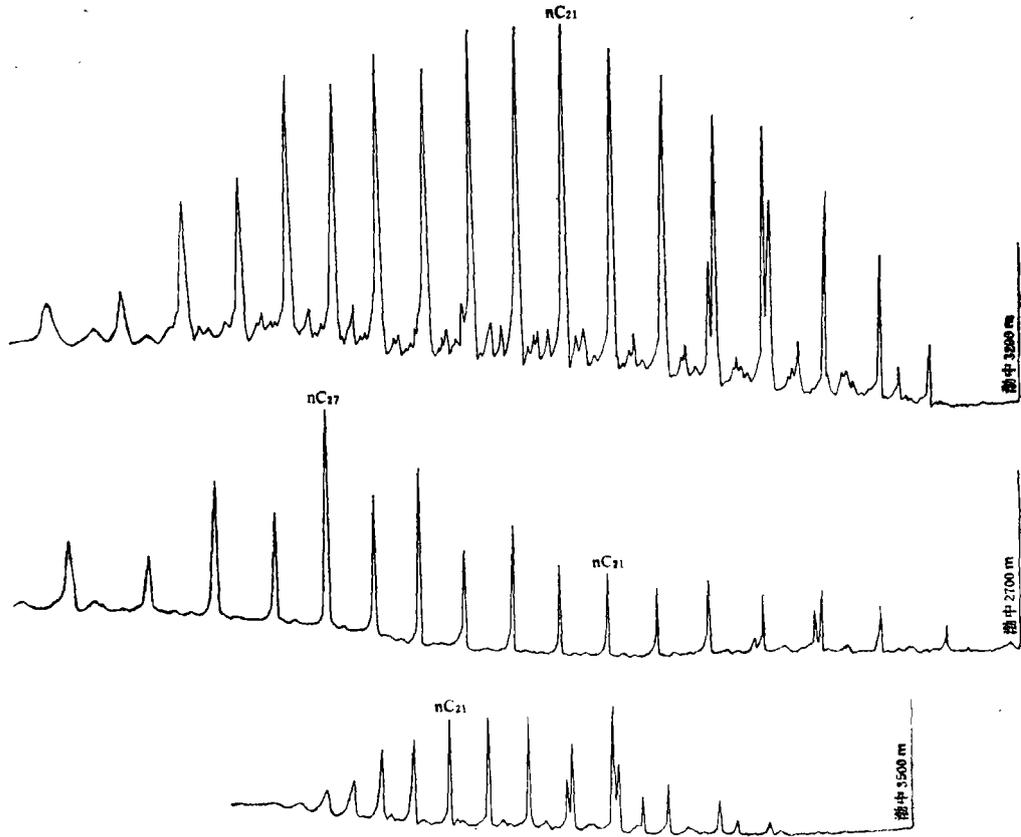


图5 渤中凹陷饱和烃色谱图
(sp-105无机盐柱)

表 2

饱和烃色谱、质谱等分析成果表

样 品	饱和烃质谱分析										饱和烃色谱分析			IR		H/C		干 酪 根	
	链环% 烃	环 烷 烃						Ph+Pr %	Ph/Pr	正烷烃 %	810/ 750	原子 比	C%	H%					
		总量%	一环	二环	三环	四环	五环								六环				
莎126井	28.8	71.1	3.7	0.4	34.6	22.6	4.6	1.49	0.0044	0.64	18.2	1.00	1.37	64.46	7.32				
古 16井	56.6	43.3	12.6	10.1	8.8	9.0	0.0	0.92	0.0014	0.82	24.7	0.77	0.93	43.80	3.39				
太 7井	43.8	56.2	13.1	13.2	14.6	11.7	0.0	0.93	0.0007	0.98	28.0	0.83	1.25	62.62	6.51				
古 15井	58.2	41.8	12.2	10.0	9.0	8.5	0.0	0.75	0.0009	1.00	23.9	0.76	1.03	62.20	5.33				
芳 3井	56.2	43.8	13.2	10.9	10.6	9.7	0.0	1.60	0.0017	1.00	22.2	0.89	1.24	55.52	5.73				
太 7井	47.5	52.5	12.1	15.3	14.4	8.1	0.3	1.00	0.0014	0.99	25.7	0.84	1.22	77.38	7.88				
泌 1井	15.1	84.9	2.6	4.4	51.5	19.6	2.6	1.66	0.0175	1.09	4.9	1.31	1.36	54.88	6.23				
下洲131井	16.2	83.8	9.4	7.0	41.4	17.3	3.8	2.85	0.0170	2.16	4.1	1.21	1.40	72.81	8.46				
双 16井	33.8	66.2	14.9	13.0	18.2	16.6	1.0	3.29	0.0059	1.95	12.0	1.04	1.24	71.36	7.36				
双232井	59.2	40.8	10.2	9.9	8.3	9.3	2.9	1.81	0.0044	0.92	17.9	0.81	1.08	72.81	6.54				
泌 74井	37.0	63.0	9.8	14.2	18.3	13.8	4.9	1.01	0.0036	1.00	21.5	0.82	1.33	76.01	8.42				
苏北东53	42.8	57.2	2.6	2.4	12.3	28.9	2.9												
东64新青	26.5	73.5	0.1	0.0	6.7	55.1	6.2												
东C1全原油	20.5	79.3	8.4	9.8	22.6	28.2	6.2												
四川石5J3	58.1	38.7	12.3	11.3	7.5	5.1	2.5												

(样品分析: 石油地质中心实验室)

五、环烷烃的特征

根据饱和烃的质谱分析，松辽、泌阳等盆地生油岩中的环烷烃具有如下特征：

1. 环烷烃含量的大小取决于母质类型和演化程度。即母质类型优者，环烷烃含量较高，劣者含量较低；同时随演化程度的加深而含量降低。例如：母质类型最佳的泌阳凹陷，环烷烃含量普遍较高，表2中泌一井、下洲131井为泌阳佳中之佳，环烷烃含量高达84.9%和83.8%；松辽莎126井的样品，母质类型较好，埋藏较浅（801米），演化程度较低，具有很高的环烷烃含量（71.1%）。

2. 环烷烃的环数分布主要与演化程度有关。演化愈浅，高环数的环烷烃含量愈高，演化愈深，多环数减少，低环数增加。表2中，松辽126井样品主要富集三、四环，五、六环也高，一、二环最低。太7井的两个样品，埋深分别为1326米和1698米，仅差300余米，环数含量就有显著差异，浅的样品四、五、六环之和为15.3%，深的样品为10.6%。可见，环烷烃的这一特征是比较灵敏的。

环烷烃的环数分布在地区上也有差异。例如：松辽盆地浅演化程度富含三、四环，深演化程度富含一、二环；泌阳凹陷浅演化程度富含三、四环，深演化程度富含一、二、三、四环；苏北盆地富含四环；四川侏罗系原油含一、二环。（表2）

但必须注意，目前的分离方法中，由于分离时（恒重）损失了相当多的一、二环环烷烃，引起环数分布造成某些假象，致使生油岩样与原油对比产生一些

困难。表2中的东64井的沥青与原油可以清楚地看出这个问题，沥青中一、二环都几乎为零，而对应的原油中的一、二环之和大于15%，比五、六环之和还高。因此，在油源对比时应予充分注意。

六、芳烃的特征

据芳烃的红外光谱分析，我国陆相生油岩中芳烃的 810cm^{-1} 与 750cm^{-1} 吸光度比值(A810/A750)**普遍较低，绝大多数界于0.8—1.0之间。作者统计了松辽、渤中、陕甘宁、苏北等地的近百个生油岩样和原油的芳烃红外光谱资料，80%以上的样品比值介于0.8—1.0，其他几乎都在1.0—1.1之间。

泌阳凹陷A810/A750比值较高，有很大部份的样品大于1.0，有的样品高达1.31。

作者认为，芳烃的这种红外光谱特征，深刻地揭示了陆相生油岩有机物质的特征及其转化为芳烃的内在规律。虽然，目前对这种规律的认识还比较肤浅，然而，大量煤岩样品、煤系地层样品的分析表明，植物型和成煤的有机物质具有优势的线性稠环芳环结构。煤样抽提物中芳烃的A810/A750比值大多为0.5左右；煤系地层生油岩的比值也都比较低，几乎都在0.8左右；煤的不溶部分（或称煤样的干酪根）该比值仅0.34（抚顺长焰煤，用切线法计算）。因此，可以认为，这些结构特征，一方面反映了原始有机物质生成芳烃时，经过了一种改造的过程，发生了结构上的变异性；另一方面也反映了不是所有的陆源物质都被改造，而是保留着原始物

*贾凤英，1979.10，泌阳凹陷油气生成的有机地球化学特征。

**基本上相当于布雷“芳烃结构分布指数”。

质的原始结构,即所谓“继承性”。换句话说,原始有机物质被改造得愈彻底,芳环结构的改变就愈大,变异性就愈加明显。

芳烃的紫外光谱分析,几乎所有的样品,双环含量大于三环,同时,双环与三环的比值,受母质类型和演化程度的双重影响。母质类型优者,比值较高,泌阳凹陷生油母质较优,比值大于10,其他盆地中

等生油母质,比值一般在2左右;对于演化程度,一般是演化程度加深,比值增大*。

本文样品分析由地质部石油地质中心实验室三、七室和上海染料研究所等完成,其中质谱分析中的环烷烃特征,与周锦南同志作过较多讨论。在此,一并致谢。

(收稿日期:1981年4月14日)

参 考 文 献

⑱

- (1) 杨万里、高瑞祺、李永康、张明辉,1980,松辽湖盆的生油特征及烃类的演化,石油学报(增刊)。
- (2) 徐濂、张湘济、庄玉人,1980,岩石原油中双环、叁环芳烃的分析方法及其地质意义的初步探讨,石油实验地质,1980年第二期。
- (3) 大庆油田科学研究设计院石油地质研究所岩相组,对松辽盆地白垩系中部含油组合湖盆沉积的几点认识,石油勘探与开发,1979,4。
- (4) 大庆科学研究设计院石油地质研究所,应用试验分析资料探讨松辽盆地陆相沉积特征,石油勘探与开发,1979.1。
- (5) Yolanae Califert, 1968, Evolution expérimentale d'huiles brutes et de fractions d'huiles brutes sous influence de la temperature de la pression et de mine'raux. Advances in Org Geo Chem.
- (6) А. А Карцев, 1978, Основы геохимии нефти и газа, издательство «недра»。

THE BASIC GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF THE SOURCE ROCKS IN SONGLIAO AND OTHER BASINS OF NON-MARINE FACIES

He Zhigao

(Central Laboratory of Petroleum Geology, Ministry of Geology)

Abstract

Six geochemical characteristics of the source rocks in Songliao and other basins of non-marine facies are discussed in this paper. They are: (1) Low aromatic hydrocarbon in bitumen; (2) The functional relation between aromatic hydrocarbons and non-hydrocarbons; (3) Characteristics of nalkanes; (4) Characteristics of isoalkanes; (5) Characteristics of cycloalkanes; (6) Characteristics of aromatic hydrocarbons.

In the last part of the article, two essential stages of oil generation of non-marine facies are discussed.

* 石油地质综合大队1976“陕甘宁油源探讨”。

石油实验地质