

# 陆相沉积盆地指相生物标记物 及分子参数

尚慧芸 姜乃煌\*

(石油工业部北京石油勘探开发研究院)

沉积相是在特定环境条件下形成的地质体,沉积相的研究,在石油地质研究中占有重要地位。根据国内外油气勘探表明,油气的生成与分布,均与沉积相带有密切的关系。〔1〕

我国陆相沉积盆地,与海相沉积盆地相比较,具有多物源,多沉积体系,相带多呈环状分布的特征。勘探实践及研究表明,沉积相带的分布与油气生成及聚集关系密切。如半深水-深水湖相,一般发育有良好的生油岩,而滨湖-浅水湖相,一般有较好的储集岩发育。油气的生成、运移及油气田的分布,基本上受沉积相的控制。

对沉积盆地中不同沉积相带的研究、应用了多种标志物进行划分。如指相岩石、指相矿物、岩石构造、生物化石、地球化学等。本文通过色谱-质谱联用仪,对不同沉积相带样品进行了分析、获得的萜烷及甾烷资料,并参照对比了其它多种地球化学资料,以生物标记化合物及分子参数做为指相标志,在松辽盆地白垩统青二、三段,渤海湾盆地第三系及鄂尔多斯盆地侏罗系等不同沉积相带的应用,进行了初步的探讨。

## 一、同盆地中不同沉积相带的萜烷及甾烷特征

松辽盆地是一个大型的湖相沉积盆地,在下白垩统湖盆持续稳定沉降,形成了有利的生油层及储集层。〔2〕从盆地边缘到中心,有洪积河流沉积,三角洲沉积及湖泊沉积几个地带<sup>1)</sup>,不同相带的氧化—还原条件不同,生物来源也有差异。对不同沉积相带的地球化学研究表明,近湖岸线陆生生物有机质含量高,而湖心水生生物有机质含量增加,由于沉积环境的不同,生油母质相对比例不同,引起烃类成分明显的变化。表1中反映了松辽盆地白垩统不同沉积相带的有机地球化学特征,半深湖-深水湖相中正烷烃低碳数含量高, $C_{21} + C_{22}/C_{23} + C_{29}$ 比值及饱和烃/芳香烃比值均较高,姥鲛烷/植烷比值为1.2—1.8。干酪根II/C原子比为1.26—1.59,反应了以水生生物有机质占主导地位,并且有良好的还原环境。而沼泽或湖沼相,正烷烃中主峰碳数较高,而 $C_{21} + C_{22}/C_{23} + C_{29}$ ,饱和烃/芳香烃、干酪根H/c原子比均较半深—深水湖相低,反映了陆源有机质占主导

\*参加试验工作的还有:贾风英、童育英、朱抱莹、王丽霞、赵坚。

1) 据大庆油田科学研究所和中国科学院南京地理所资料。

表1 松辽盆地白垩统不同沉积相地球化学指标

Table 1 Geochemical signatures of the different facies of the Lower Cretaceous system in the Songliao basin

指标	正烷烃主峰碳数 $C_{21}+C_{22}$ / $C_{25}+C_{29}$	OEP	饱和烃 / 芳香烃	Pr/Ph	Pr/nC <sub>17</sub>	Pr/hC <sub>13</sub>	H <sub>7</sub> C	样品数	
沉积相									
半深— 深水湖相	C <sub>15</sub> 、C <sub>21</sub> 、C <sub>23</sub>	2—10	1—1.17	2.2—8.4	1.2—1.8	<0.5	0.11—0.64	1.26—1.53	5
滨湖— 浅水湖相	C <sub>21</sub> 、C <sub>27</sub>	0.8	1.16	2.4	2.27	0.41	0.19		1
沼泽或 湖沼相	C <sub>25</sub> 、C <sub>27</sub>	0.7—1.7	>1.30	1.9	>1.2	1.08	0.65	<0.8	2

(根据杨万里等人的资料编)

地位，而滨湖—浅水湖相处于两者之间，正烷烃的谱图有时出现双峰，其烃类成分按不同相带呈环状分布（图1）。

在已有研究成果的基础上，选择了下白垩统青二、三段不同沉积相带的代表样品，沼泽相（藿1井）、浅湖相（杜406井）、半深—深水湖相（大川井）三块样品，进行了色谱—质谱分析，获得了m/e191和m/e217质量色谱图（图2）。由图可见，其不同沉积相带的m/e191及m/e217质量色谱图是有差异的。从萘烷看，沼泽相藿烷小于（或等于）降藿烷，而半深—深水湖相则藿烷大于降藿烷。而滨湖相居中。从甾烷成分分布看，沼泽相C<sub>29</sub>甾烷的相对含量为45%，它高于半深—深水湖相35.6%，而滨湖相C<sub>29</sub>相对含量为40%居两者之间。

对不同沉积相带的萘烷及甾烷的各项分子参数进行了分析，通过20几项分子参数的计算比较，选择出以下几项有意义的指相参数（表2）。表中萘烷参数T<sub>m</sub>/T<sub>s</sub>比值，是藿烷C<sub>27</sub>H<sub>46</sub>的两个异构体的比值，一般是用来反映成熟度的指标。但由表2可见，该比值并不严格按照深度增长而降低，如杜406井样品埋深为1348米，而藿1井样品埋深为1612米，但杜406井T<sub>m</sub>/T<sub>s</sub>比值低于藿1井，看来T<sub>m</sub>/T<sub>s</sub>比值变化沉积相带关系更为密切些。沼泽相到半深—深水湖相T<sub>n</sub>/T<sub>s</sub>比值由1.75降到1.25，C<sub>29</sub>/C<sub>30</sub>即降藿烷与藿烷之比值，从沼泽相到半深—深水湖相，该比值由1.04降到0.56，即降藿烷自大于藿烷到逐渐小于藿烷的相对含量，变化明显。ΣC<sub>27</sub>+C<sub>21</sub>/C<sub>30</sub>比值，由沼泽相到半深—深水湖相从1.10降到0.82，这是由于水生藻类有机质增多而造成。由表2可见，参数ΣC<sub>27</sub>/ΣC<sub>29</sub>为C<sub>27</sub>甾烷与C<sub>29</sub>甾烷相对强度的比值，反映了不同生物来源。在沼泽相中，C<sub>27</sub>甾烷低于C<sub>29</sub>甾烷，而在半深—深水湖相则C<sub>27</sub>甾烷相对含量增高，这显然是由于沉积环境差异及生物来源不同造成的。参数4—甲基—C<sub>29</sub>甾烷/5α—C<sub>27</sub>甾烷，一般认为5α—C<sub>27</sub>甾烷主要来自水生生物，而4—甲基—C<sub>29</sub>甾烷与植物来源有关，故它们反映了不同沉积环境的产物，在不同沉积相带变化明显。参数三环萘烷/藿烷，三环萘

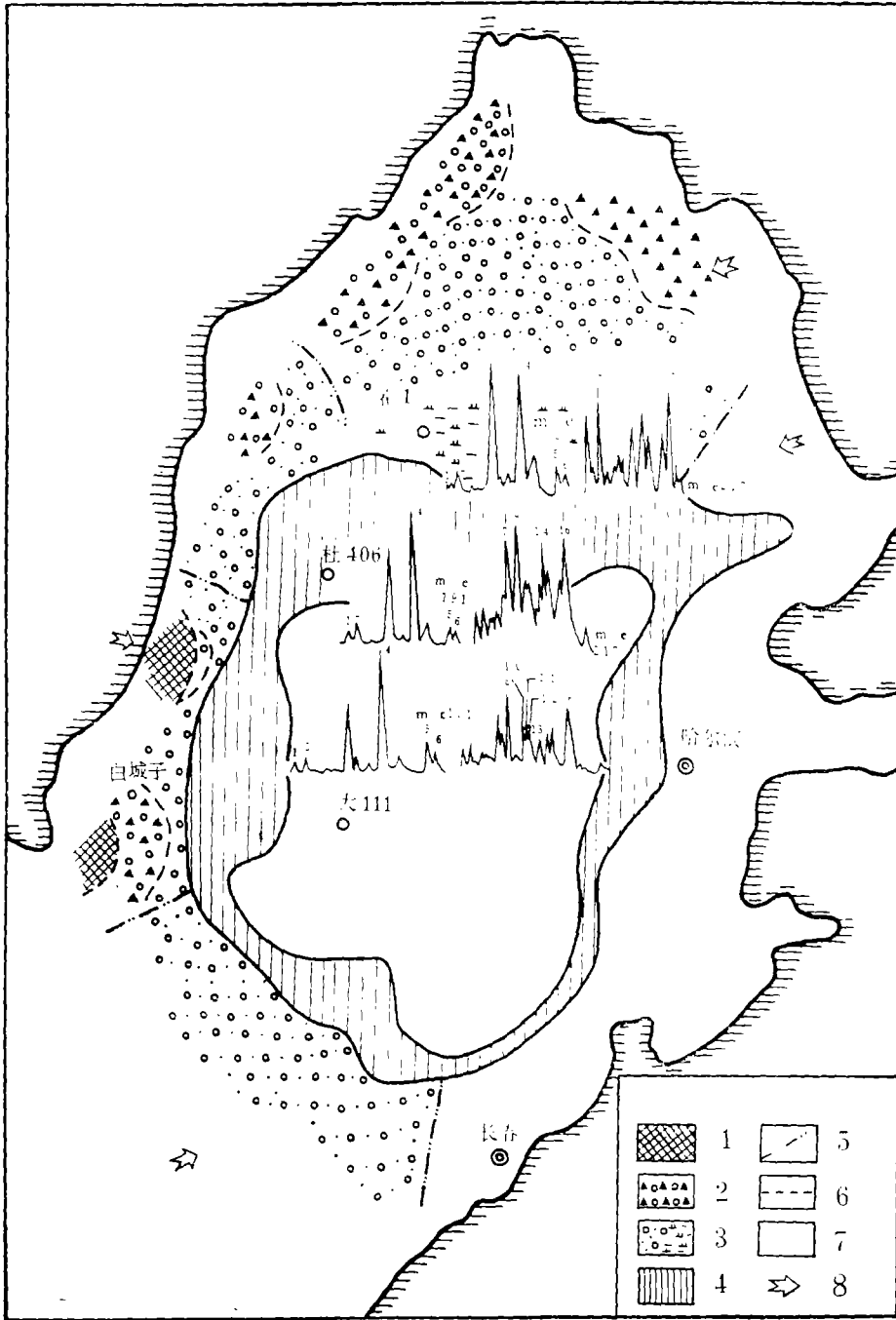


图1 松辽盆地下白垩统不同沉积相带全烃色谱特征

1. 剥蚀区 2. 洪积相 3. 河流及沼泽相 滨湖相

5. 体系界线 6. 相带界线 7. 半深-深水湖相 8. 物源方向

Fig. 1 Characteristics of total hydrocarbon spectra of the different sedimentary facies belts of the Lower Cretaceous system in the Songliao basin

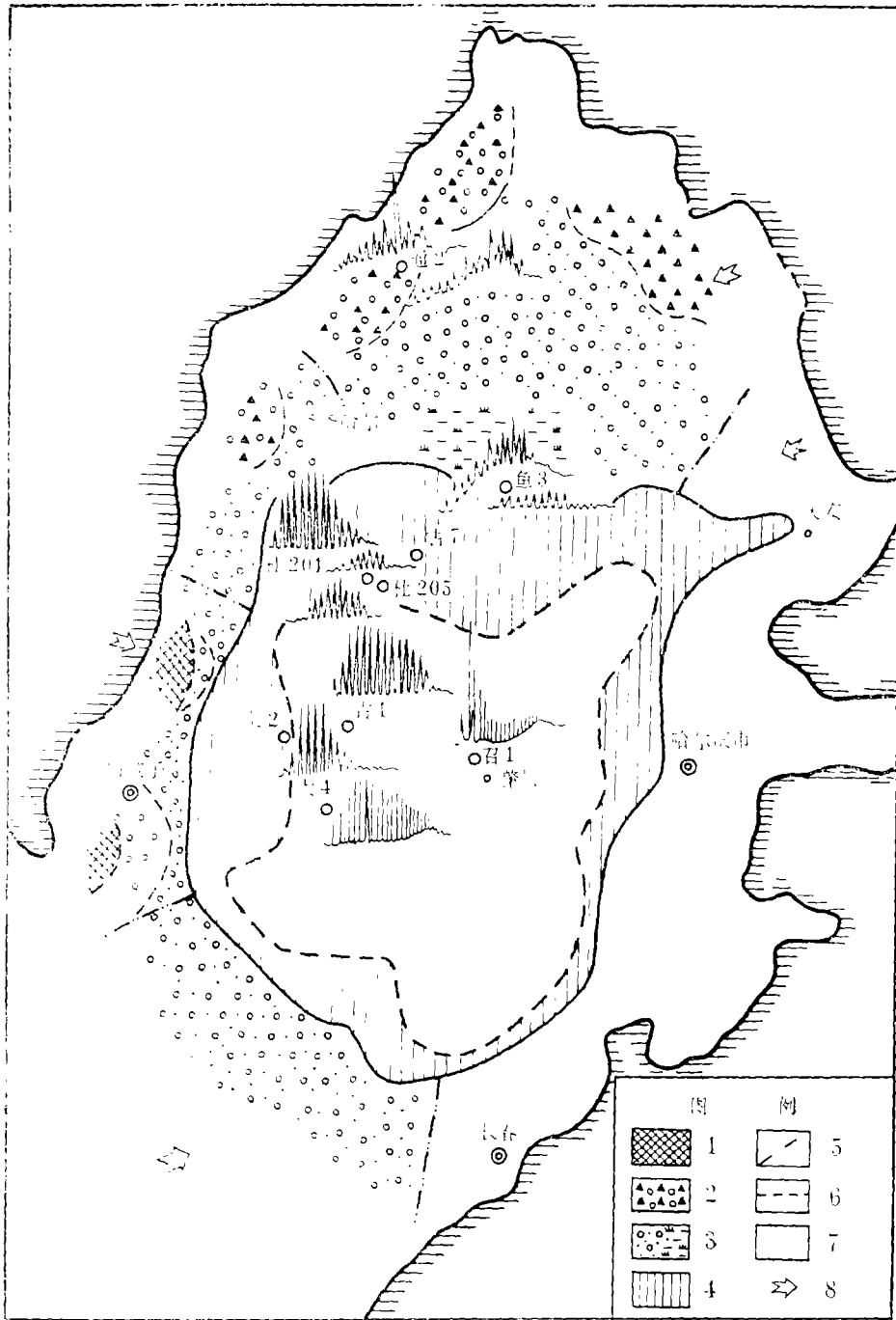


图2 松辽盆地下白垩统青二、三段不同相带m/e191和m/e217质量色谱

1. 剥蚀区 2. 洪积相 3. 河流及沼泽相 4. 滨湖相

5. 体系界线 6. 相带界线 7. 半深—深水湖相 8. 物源方向

图上峰号所代表的化合物及其立体化学结构分别为:

1. 18 $\alpha$ (H)-22、29、30三降萜烷 2. 17 $\alpha$ (H)-22、29、30三降萜烷 3. 17 $\alpha$ (H), 21 $\beta$ (H)-30-降萜烷 4.

17 $\alpha$ (H), 21 $\beta$ (H)-甾烷 5.17 $\alpha$ (H), 21 $\beta$ (H)-3 $\alpha$ -高藿烷22S 6.17 $\alpha$ (H), 21 $\beta$ (H)-3 $\alpha$ -高藿烷22R 7.14 $\alpha$ .  
17 $\alpha$ -胆甾烷20S + 5 $\beta$ -粪甾烷20R 8.14 $\beta$ 、17 $\beta$ -异胆甾烷-20S 9.14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ -胆甾烷-20R 10.14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ -  
24-甲基-胆甾烷20S 11.5 $\beta$ -24-甲基-粪甾烷-20R + 14 $\beta$ , 17 $\beta$ -24-甲基-异胆甾烷20R 12.14 $\beta$ -17 $\beta$ -24-  
甲基-异胆甾烷-20S 13.14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ -24-甲基-胆甾烷-20R 14.14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ -24-乙基-胆甾烷20S 15.5 $\beta$ ,  
14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ -24-乙基-粪甾烷20R + 14 $\beta$ 、17 $\beta$ -24-乙基-异胆甾烷 16.14 $\alpha$ , 17 $\alpha$ -24-乙基-胆甾烷20R

Fig. 2 Mass chromatogram of m/e 191 and m/e 217 of the different facies belts of the Qingshankou 2-3 member of the Lower Cretaceous system in the Songliao basin

表 2 下白垩统青二、三段不同沉积相带萜烷甾烷参数

Table 2 Parameters of terpenes and steroids of the different facies belts of Qingshankou 2-3 member of the Lower Cretaceous system

井号	沉积相带	萜 烷			甾 烷		三环萜
		Tu/Ts	$\Sigma C_{27} + C_{28}$ C <sub>30</sub>	C <sub>27</sub> /C <sub>30</sub>	$\Sigma C_{27} / \Sigma C_{29}$	4-甲基-C <sub>27</sub> 5.2-C <sub>27</sub>	
霍1井	沼泽相	1.72	1.40	1.04	0.66	0.27	2.13
杜406	滨湖相	1.50	1.17	0.72	0.86	0.26	>0.39
大川	深水湖相	1.25	0.82	0.56	0.89	0.18	>0.45

烷从m/e191质量色谱图中, 可以看到三环萜的分布。三环萜多来自树脂类, 松香酸为典型的三环萜类化合物, 因而认为它与陆源生物有关。表中可见, 该比值由沼泽相到半深-深水湖相逐减降低。

## 二、不同沉积盆地相同相带的萜烷及甾烷特征的比较

在对同一盆地, 相同层位不同沉积相带的萜烷、甾烷特征研究的基础上, 对相同沉积相带在不同沉积盆地不同层位的萜烷及甾烷特征进行了探索性的比较(图3)。现分述如下:

**沼泽相** 选择了鄂尔多斯盆地中下侏罗统延安组与松辽盆地下白垩统青二、三段沼泽湖样品, 进行了萜烷及甾烷的比较。从图3可见, 萜烷中降藿烷/藿烷比值均大于1, 降藿烷 $\geq$ 藿烷, 而 $\Sigma C_{27+29} / \Sigma C_{30}$ 比值比较高。两个样品比较, 鄂尔多斯盆地J<sub>1</sub>1/6样品大于松辽盆地K<sub>1g</sub><sup>n</sup><sub>2+3</sub>样品比值, 可能与前者在沉积中夹有煤层有关。在鄂尔多斯盆地岭11井J<sub>1</sub>1/6的m/e191质量色谱图中, 虽看不出明显的臭利烷, 但在4号峰左肩区间内所测质谱图, 见到以m/e191为主峰的、而无m/e369碎片离子峰的谱图, 确认有臭利烷的存在。关于臭利烷, 一些文章已有报导<sup>[3][4]</sup>它与陆生植物有关, 也是

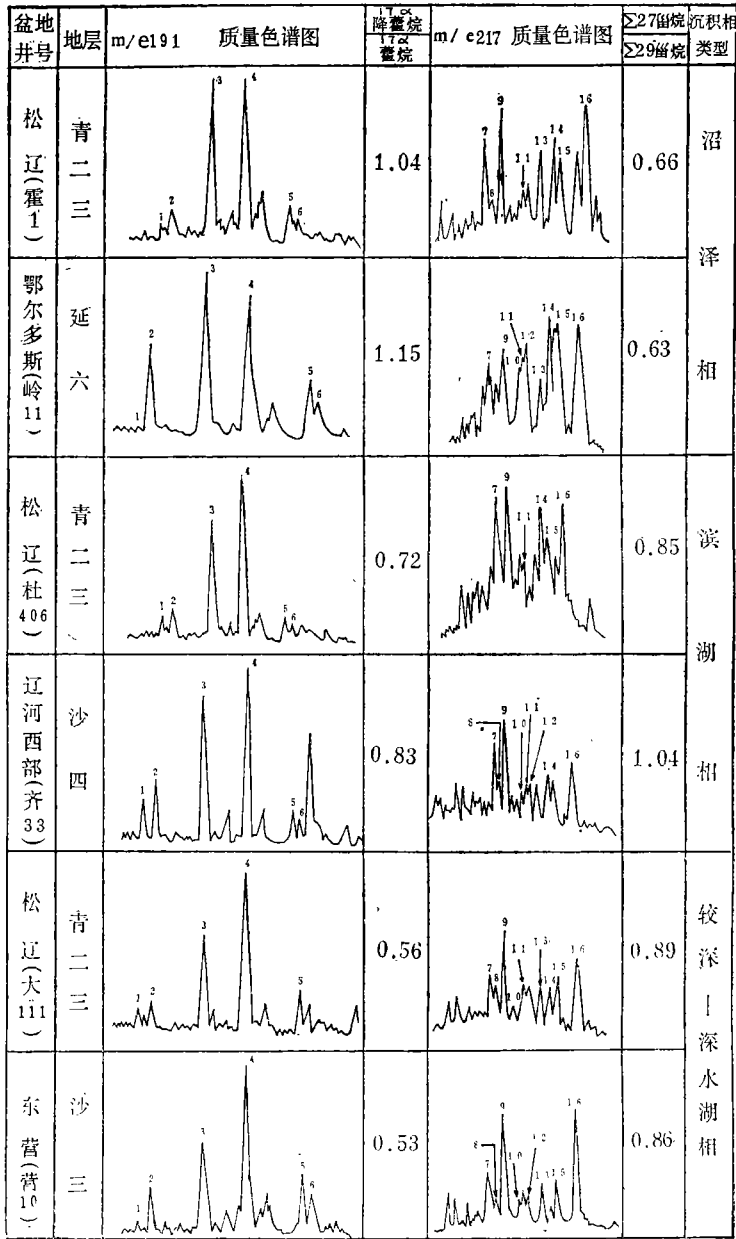


图3 陆相沉积盆地不同沉积相带m/e191及m/e217质量色谱图比较  
(图上的峰号所代表的化合物, 见图2注示)

Fig.3 Comparison of mass chromatogram of m/e 191 and m/e 217 of the different facies bands in the nonmarine facies sedimentary basin

一种较好的指相标记化合物。沼泽相样品中的甾烷, 由图3可见, C<sub>27</sub>甾烷明显地低于C<sub>29</sub>甾烷, 其ΣC<sub>27</sub>/ΣC<sub>29</sub>比值分别为0.66及0.63。而4-甲基-C<sub>29</sub>/5α-C<sub>27</sub>比值相

对较高。松辽盆地 $K_{1q}^{n_{2+3}}$ 为0.27, 而鄂尔多斯盆地 $J_1 1/6$ 未测出。

半深-深水湖相 以车营凹陷 $E_{s3}$ 段和松辽盆地 $k_{1q}^{n_{2+3}}$ 样品相比较(图3)其 $m/e191$ 质量色谱图中, 降藿烷小于藿烷, 降藿烷/藿烷比值分别为0.56及0.53, 与沼泽相明显不同。而 $\Sigma C_{27} + C_{29} / \Sigma C_{30}$ 比值较低, 分别为0.82与0.84, 没有发现臭利烷, 三环萜烷含量也明显降低。从 $m/e217$ 质量色谱图中可见 $\Sigma C_{27} / \Sigma C_{29}$ 比值较高, 与沼泽相比较, 则 $\Sigma C_{27}$ 明显的大于 $\Sigma C_{29}$ , 其比值分别为0.89和0.86, 4-甲基 $C_{29} / 5\alpha-C_{27}$ 比值, 较沼泽相明显降低为0.18及0.16。

滨湖相选择了辽河凹陷 $E_{s4}$ 段, 与松辽盆地 $K_{1q}^{n_{2+3}}$ 段比较, 其萜烷及甾烷的特征介于沼泽相和半深-深水湖相之间。

关于三环萜烷, 由于样品处理方法不同, 一些样品中无三环萜烷, 但是从已有资料可见, 在深水湖相含量相对较低, 而沼泽相及滨湖相含量相对较高。

综上所述, 将我国几个陆相沉积盆地不同沉积相带, 萜烷及甾烷的分子参数, 归纳如表3。

表3 我国几个陆相沉积盆地不同沉积相带萜烷及甾烷参数比较表

Table 3 Comparison of parameters of triterpanes and steranes of the different sedimentary facies belts in several continental facies basins of China

盆地 (凹陷)	相带	井号	层位	三环萜烷 藿烷	萜烷		甾烷	
					降藿烷 藿烷	$\Sigma C_{27} + C_{29} / \Sigma C_{30}$	$\Sigma C_{27} / \Sigma C_{29}$	$4\text{-甲基-}C_{29} / 5\alpha\text{-}C_{27}$
松辽	沼泽相	霍1井	$K_{1q}^{n_{2+3}}$	2.13	1.04	1.40	0.66	0.27
鄂尔多斯	沼泽相	岭11井	$J_1 1/6$	/	1.15	1.70	0.63	/
松辽	滨湖相	杜406	$K_{1q}^{n_{2+3}}$	<0.39	0.72	1.17	0.85	0.26
辽河	滨湖相	齐33	$E_{s4}$	3.69	0.84	1.30	0.06	0.09
松辽	半深-深水湖相	大川	$K_{1q}^{n_{2+3}}$	<0.45	0.56	0.82	0.89	0.18
车营	半深-深水湖相	营10	$E_{s3}$	/	0.53	0.84	0.86	0.16

### 三、指相生物标记化合物及分子参数

通过对同一盆地、同一层位的不同沉积相带及不同盆地、不同层位的相同沉积相带的萜烷及甾烷的比较, 并应用有关地球化学指标相互验证, 使我们对生物标记化合物及分子参数, 作为陆相沉积盆地不同沉积相的环境指标, 有了初步的认识。

在宏观地球化学方面, 如有机碳、氯仿沥青“A”及其组份、饱和烃/芳香烃、正构烷烃色谱图、干酪根镜下鉴定及其H/e原子比、稳定碳同位素, 以及微量金属元素等, 在区分海陆相沉积环境, 及在沉积盆地中区分不同的沉积相带, 已显示出其应用效果。

生物标记化合物是在分子水平上选择的环境指标, 这是对以往工作的一个补充。根据以上讨论可见, 生物标记化合物, 可以对沉积物中有机质的来源及环境, 提供重要的

信息<sup>[5]</sup>。现将不同沉积相带的指相生物标记化合物及分子参数,结合宏观参数,简要归纳如下。

**沼泽相** 有机质主要是以陆生植物碎片以组成,在未经较高成熟作用下的样品,其正构烷烃以高分子量 $C_{25}$ 以上碳数占优势。 $C_{21} + C_{22}/C_{27} + C_{28}$ 比值低。具有类异戊二烯烷烃( $iC_{15}-iC_{20}$ ),姥鲛烷/植烷比值大于1.2,姥鲛烷/正十七烷比值含量较高。三环萜相对含量较丰富。藿烷系列中降藿烷大于或等于藿烷,降藿烷/藿烷比值高, $\Sigma C_{27} + C_{28}/\Sigma C_{30}$ 比值高。而甾烷中 $C_{29}$ 的谷甾烷比 $C_{27}$ 胆甾烷高。一般认为是成煤相带,具有生气条件,而当条件适宜时,有较低的生油潜力。

**半深-深水湖相** 其沉积位于波基面以下水体较深的部分,以泥质岩为主,为弱还原-还原环境,有机质来源以水生生物为主。其有机碳含量一般为1—2%,正构烷烃组成以 $C_{17}$ 、 $C_{19}$ 、 $C_{21}$ 占优势, $C_{21} + C_{22}/C_{27} + C_{28}$ 比值较高。具有异戊间二烯烷烃( $iC_{15}-iC_{20}$ ),姥鲛烷/植烷比值为1.2—1.8,姥鲛烷/正十七烷小于0.5。三环萜相对含量低,在藿烷系列中,降藿烷小于藿烷, $\Sigma C_{27} + C_{28}/\Sigma C_{29}$ 比值均较高。甾烷中 $C_{27}$ 甾烷的相对含量较高。半深-深水湖相为较好的生油相带。

**滨湖-浅湖相** 位于洪水面与枯水期水面之间,砂质岩发育,水动力条件复杂。具有氧化-弱还原环境,其各项地球化学指标,介于上述两相带之间,具有一定的生油条件,一般为较好的储油相带。

#### 四、结 语

通过以上讨论,初步获得以下认识:

(1) 不同沉积相带一般具有特定的沉积环境及有机质来源,因而具有不同的萜烷及甾烷特征,生物标记化合物可以表征沉积环境和有机质的来源,可以做为指相标志之一。虽然这方面的研究工作刚刚开始,但它的应用是有前途的。

(2) 通过本文的研究,提出的指相生物标记化合物及分子参数萜烷中如臭利烷、藿烷、 $Tu/Ts$ 、 $\Sigma C_{27} + C_{28}/\Sigma C_{30}$ 、 $C_{29}/C_{30}$ ,甾烷中的 $\Sigma C_{27}/\Sigma C_{29}$ 、4-甲基- $C_{29}/5\alpha-C_{27}$ 等标志。

(3) 在某种情况下,可以只用一种特征化合物去称沉积相问题。然而,这种方法应用时要慎重,因影响因素是多方面的,它还受到成熟度、运移条件的影响。

由于研究地区及样品数量有限,所做的工作仅仅是初步的探讨,不同地质条件的盆地,可能有所不同,待不断地深入研究,逐渐补充完善。

石宝珩同志,及吴崇筠教授审阅了本稿,并提出宝贵意见。大庆油田、胜利油田、辽河油田、长庆油田提供了分析样品,谨致谢意。

(收稿日期:1982年5月28日)



### 参 考 文 献

- [1] 吴崇筠, 湖泊沉积相的划分, 石油勘探与开发, 1981, 第二期。
- [2] 杨万里, 松辽湖盆生油特征及烃类的演化, 石油学报, 1980, 增刊号。
- [3] Whitehead, E.V., *Advances in Organic Geochemistry*, 1975, 225.
- [4] 尚慧芸等, 鄂尔多斯盆地甾烷及萜烷的地球化学特征, 石油勘探与开发, 1982, 第二期。
- [5] Tissot, B.p. & Welte, D.H., *Petroleum Formation and Occurrence; A New Approach to Oil and Gas Exploration*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg New York, 1978.

## SEDIMENTARY FACIES INDICATORS OF BIOMARKERS AND THEIR MOLECULAR PARAMETERS IN TERRESTRIAL BASINS

Shang Huiyun Jiang Naihuang

(Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing)

### Abstract

Sedimentary facies is the major control of petroleum origin, migration and distribution in terrestrial basins. The common study methods of sedimentary facies are based on the characteristics of sedimentary sequence and various markers such as rock facies, mineral facies, biological fossils, trace fossils, rock structure, etc. and they are classified by geochemical indicators. We have used GC-MS to analyze the samples of different sedimentary facies (swamp facies, littoral and shallow water lacustrine facies, subdeep-deep water lacustrine facies) of triterpanes and steranes in an attempt to find out the sedimentary facies indicators of biomarkers and their molecular parameters in terrestrial basins.

Sedimentary facies indicator of biomarkers is one of the means of measurement to study sedimentary facies on molecular level and it is also a complementary means to the conventional methods. In geological period, the biomarker compounds had more stable carbon skeleton, they transferred the informations of primary living organisms, and were closely related to biological bodies. The study of sedimentary facies of terrestrial basin shows that the type of organic matter in source rocks is controlled on the plane by the belts of the sedimentary facies. Land plants are mostly distributed on the lakeshore, whereas aquatic organisms at the central part of the lake. Therefore, the biomarkers used to recognize the type of organic matter and their molecular parameters may also be used as compounds of facies indicators of biomarkers.

Different facies from lower Cretaceous Qingshankou 2-3 member of Songliao basin, and samples of different ages but in the same sedimentary facies from Paleogene Shahejie formation of Bohai Bay basin, lower Cretaceous Qingshankou 2-3 member of Songliao basin, Jurassic Yunan formation of Erduosi basin have been analyzed by comparing and examining triterpanes and steranes from different sedimentary facies along with geological and geochemical data, and therefore we have got some knowledge about sedimentary facies indicators of biomarkers of the terrestrial basin.

Based on the study of biomarker in sedimentary facies belts from the basins, we

have suggested that oleanane, C29-hopane/C30-hopane, Tm/TS,  $\Sigma$ C27 + C29-hopane/ $\Sigma$ C30-hopanes and  $\Sigma$ C27-steranes/ $\Sigma$ C29-steranes, 4-methyl-C29-steranes/5 $\alpha$ -C27-steranes can be used as indicators of the biomarkers and molecular parameters. By using geochemical parameters, the sedimentary facies bands may be classified as follows: The swamp facies, in general, contain oleanane and C29-hopane/C30-hopane, Tm/TS,  $\Sigma$ C27 + C29/ $\Sigma$ C30 are higher, while in steranes  $\Sigma$ C27/ $\Sigma$ C29 is relatively lower but the 4-methyl-C29/5 $\alpha$ -C27 higher. The characteristics of subdeep-deep lacustrine facies is contrary to the previous discussion. The lakeshore facies are moderate in characteristics of the two mentioned above.

The authors believe that better results can be achieved if facies indicators of biomarkers and their molecular parameters are used to classify the sedimentary facies in company with geological and geochemical parameters. The biomarkers and their parameters suggested in this paper have shown their applicability to the samples studied.

### “石油系统沉积相成果交流会”在辽河油田举行

82年5月26日至6月4日,石油系统沉积相成果交流会,在辽河油田圆满结束。

出席这次沉积相会议的有来自全国22个省、市、自治区27个单位的111名代表,还邀请了高等院校、科学院代表6名。大会重点围绕三角洲沉积和浊积两个专题,进行了大会报告,分组讨论,岩心观察。会议收到成果报告,学术论文19篇,大会交流18篇,其中高等院校和科学院代表所作的5篇总结性发言得到会议代表的欢迎。

中国沉积学会副理事长吴崇筠教授在会上作了报告,受到与会者的重视和好评。

通过这次会议,代表们提高了沉积相研究对油气勘探重要性的认识,普遍反映沉积相的研究不仅能为寻找隐蔽油藏指明方向,而且能为老区挖潜,新区勘探提供十分重要的资料,从而增强了沉积相研究的信心。

整个会议期间,发扬了学术民主,畅所欲言,各述己见,取长补短,重点突出各沉积体系特征和形成机理,从而统一了认识。对某些有争论的问题认为需继续工作,留待今后解决。整个会议自始至终既严肃紧张,又生动活泼。

这次沉积相成果交流会内容丰富,安排周到,为各单位沉积相工作者提供了一个相互交流学术观点和工作成果的良好机会。

(唐祥华)