

塔里木盆地东南断陷区 侏罗系含油砂岩的地球化学特征

徐翔 胡民 张渠 白森舒

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

本文对塔里木盆地东南断陷区侏罗系的生油岩和含油砂岩进行了地球化学特征研究。侏罗系陆相生油岩, 其母质来源以陆源高等植物为主, 演化程度低; 含油砂岩其母质来源以低等水生生物为主, 原油成熟度高。研究表明, 侏罗系含油砂岩其源岩为古生代的海相生油岩。

关键词 东南断陷区 含油砂岩 母质类型 地球化学特征 塔里木盆地

第一作者简介 徐翔 男 32岁 工程师 石油地球化学

塔里木盆地是我国最大的内陆盆地。自80年代以来, 在塔北的沙雅隆起、塔中隆起以及塔西南的麦盖提斜坡等地区相继都打出了高产油气流。相比之下, 在塔里木盆地东南断陷区, 所做的工作很少, 至今未有重大进展。1992年我们对塔东南地区进行了野外地质工作, 在且末县的其格勒克、江格萨依等地区的野外地质剖面观察中, 在下侏罗统储层发现了多层具油气显示的含油砂岩, 其累计厚度约达103余米。为此, 本文将对下侏罗统的含油砂岩进行地化特征的研究, 以查明它的母质来源及原油成熟度。并对含油砂岩的源岩进行初步探讨。

对于塔里木盆地东南断陷区的区域构造, 侏罗系生油岩及含油砂岩的沉积以及储集特征, 本期已有专文发表, 本文不再细述。

1 侏罗系生油岩地球化学特征

1.1 生油岩有机质丰度

侏罗系生油岩主要是指中侏罗世沉积的湖沼相、湖泊相暗色泥岩、碳质泥岩。样品采自野外露头以及煤矿探井。分析结果, 有机碳含量为1.46~4.43%, 氯仿沥青“A”为 324×10^{-6} ~ 539×10^{-6} , 烃含量为 128×10^{-6} ~ 155×10^{-6} , $S_1 + S_2$ 为2.95~3.23mg. H/g. R(表1)。结果表明, 塔东南侏罗系生油岩为较差至较好生油岩。

1.2 生油岩有机质类型

通过对塔东南其格勒克侏罗系暗色泥岩有机显微组份、碳同位素以及饱和烃色谱的研究。生油岩有机质类型总体上为I—III, 以III型为主, 即以腐殖型为主。表明生油岩有机质主要来源于陆源高等植物。

有机显微组份显示, 生油岩母岩成分中类脂组含量较高, 镜质组中带发光的降解镜质体(富氢)含量很高(表2)。

表1 塔东南侏罗系生油岩有机质丰度

剖面	层位	岩性	有机碳 (%)	沥青“A” ($\times 10^{-6}$)	烃含量 $\times 10^{-6}$	S_1+S_2 ($\text{mg} \cdot \text{H/g} \cdot \text{R}$)	生油条件	
其格勒克	QI-27	J ₂	暗色泥岩	4.43	369	128	3.23	较差至较好生油岩
	QI-25	J ₂	暗色泥岩	2.89	539	142	3.2	
	Q-S-1	J ₂	暗色泥岩	1.64	324	155	2.95	

表2 塔东南侏罗系有机显微组份

样号	腐泥组	类脂组	镜质组		隋质体
	藻质体	无定形	镜质体	降解镜质体	半-丝质体
QI-25	0.99	20.95	24.11	45.85	8.10
Q-S-1	0.71	16.11	18.72	62.56	1.90

此外,饱和烃碳同位素(-30%)显示较轻,姥鲛烷/植烷比值相对偏低(Pr/Ph 为1.4~2.3), $\Sigma\text{C}_{21}^-/\Sigma\text{C}_{22}^-$ 比值 >2 。反映了局部地区沉积环境变好、湖水相对较深、水生生物占有一定比例,使有机质类型偏于I型。

1.3 生油岩有机质成熟度

判断生油岩成熟度的指标主要为 R^o 。此外,饱和烃色谱OEP值,烃轻色谱分析的庚烷值、异庚烷值,色谱-质谱分析的五环三萜烷 T_m/T_s 值、 $17\alpha, 21\beta\text{-C}_{31}$ 和 $17\alpha, 21\beta\text{-C}_{32}$ 的升藿烷S构型与R构型比值等,也是反映成熟度的有效指标。

用以上的成熟度指标对侏罗系生油岩进行对比,结果表明,生油岩均处于低成熟-未成熟阶段。

有机质镜质体反射率 R^o 为0.5%左右, T_{max} 为430℃左右。轻烃色谱庚烷值为20%、异庚烷值为0.4。五环三萜烷 T_m/T_s 为3~13; $17\alpha, 21\beta\text{-C}_{31}$ 的 $22S/(22S+22R)$ 为0.17~0.27; $17\alpha, 21\beta\text{-C}_{32}$ 的 $22S/22R$ 为0.13~0.3。这些结果均反映了该区侏罗系生油岩成熟度偏低。

综上所述,中侏罗统暗色泥(页)岩生油岩从其有机质丰度、类型分析为较差至较好生油岩。唯其成熟度偏低,对生油不利。但位于深凹及埋深较大的地区,据古地温推算仍有一定的生油条件。

2 侏罗系含油砂岩的油源探讨

在塔东南的布雅—皮西、普鲁、且末南煤矿和其格勒克、江格萨依等地表剖面中均发现不同程度含油显示。它们多分布在侏罗系下统储集层中。下侏罗统除湖沼相煤系地层外均

为河流相较致密的细—中粒砂岩、含砾砂岩。在其格勒克剖面上，下侏罗统中发现了10层含油显示，其中荧光显示明显的有5层，累计厚103余米。中、上三叠统及上侏罗统中含油显示不明显。

为了探明含油砂岩中的“原油”性质及其亲缘关系，将从以下几个方面进行探讨。

2.1 含油砂岩与生油岩母质类型对比

2.1.1 饱和烃色谱特征

对侏罗系的含油砂岩及生油岩进行饱和烃色谱分析，可以看出链烷烃的不同分布特征（表3、图1）。

表3 塔东南侏罗系含油砂岩与生油岩饱和烃色谱特征

指 标	含 油 砂 岩 (J ₁)			生 油 岩 (J ₂)		
	QI-20	QI-17	QI-8	QI-27	QI-25	Q-S-1
碳数范围	14-25	10-23	13-33	11-34	11-33	12-32
主峰碳数	18	19	18	27	25	25
OEP	0.95	1.06	0.85	2.92	2.28	2.58
Pr/Ph	0.58	0.59	0.84	1.41	2.31	1.95
$\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$	1.85	/	2.38	0.66	0.62	0.64
$(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$	2.52	/	3.80	1.15	1.61	1.54
类 异 戊 二 烯 分 布 (%)	norPr	10	12	17	17	16
	Pr	33	32	38	47	55
	Ph	57	55	45	34	28

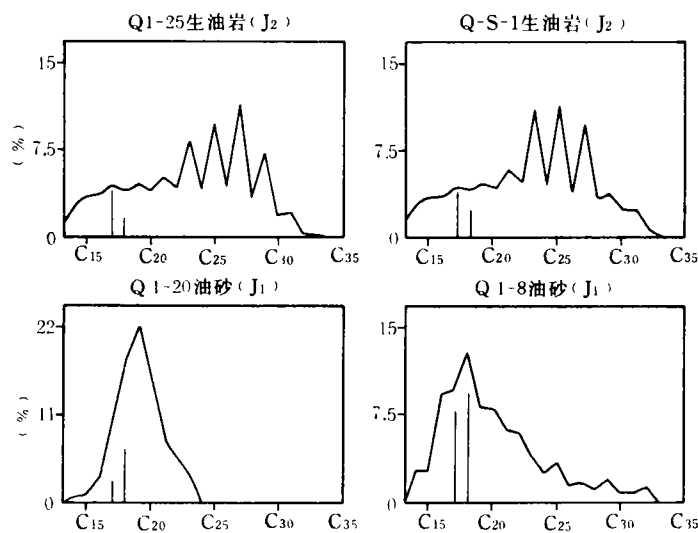


图1 塔东南侏罗系生油岩、含油砂岩饱和烃碳数分布图

侏罗系含油砂岩,饱和烃色谱 OEP 值为 0.85~1.06,Pr/Ph 为 0.58~0.84,显示出一定的偶奇优势.从而反映了含油砂岩油源岩的有机质形成于一种较强的还原环境,而与中侏罗统生油岩有很大差别,与海相生油岩有一定的成因联系.

侏罗系生油岩抽提物的饱和烃色谱特征反映出姥鲛烷相对于植烷占优势,Pr/Ph 比值为 1.41~2.31.主峰碳偏高,为 nC₂₅~nC₂₇.这表明生油岩的原始母质来源以陆源高等植物为主.

图 1 显示的是含油砂岩和生油岩的饱和烃碳数分布图.从中可以看出,含油砂岩主峰碳数偏低,为前峰型.而生油岩主峰碳数偏高,为后峰型,两者具有很大的差别.

此外,从类异戊二稀烷烃姥鲛烷(Pr)、植烷(Pn)、降姥鲛烷(norPr)的相对分布(图 2)上看出,其母质来源属于不同性质的有机质.

2.1.2 饱和烃环数分布特征

饱和烃中链烷烃与环烷烃的组成,与源岩的母质来源和热演化程度有关.用质谱法测定塔东南侏罗系含油砂岩与生油岩的饱和烃环数分布特征,进行链、环组成的对比,可以研究其成因归属关系.

从环烷烃的分布图(图 3)以及根据表 4 数据所作的链烷/一环与二环/三环比值图(图 4),可以看出,含油砂岩与生油岩完全不同的归属,两者截然区分.生油岩显示出链烷/一环比值高,二环/三环比值低,这与它的母质来源为陆源高等植物以及成熟度偏低有关.因为,以陆源高等植物为来源的有机质往往显示出链烷含量高的特点.而与含油砂岩聚集在同一区域内,具有相近特点的是演化程度较高的塔东北的海相原油(下古生代奥陶系).这反映了含油砂岩的成因归属可能与海相生油岩有关.

2.1.3 生物标记物 5 α -规则甾烷分布特征

5 α 系列规则甾烷是指 C₂₇-C₂₈ 中的 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-20R 构型.它们之间的相对分布可用于指示有机质的输入物源.一般来说,C₂₇胆甾烷来自动物体中的胆固醇,C₂₈麦角甾烷多存在于菌类和硅藻中,而 C₂₉谷甾烷的前身(植物固醇)则存在于高等植物中.

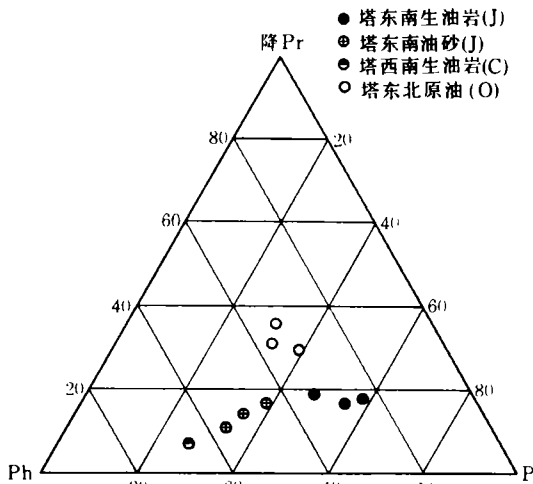


图 2 塔东南及邻近区生油岩、油砂、原油类异戊二稀烷烃分布图

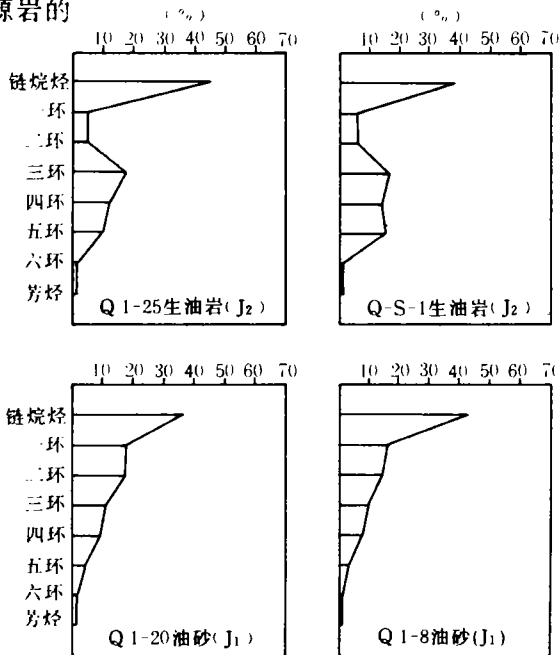


图 3 塔东南侏罗系生油岩,含油砂岩环烷烃分布图

表4 塔东南侏罗系含油砂岩、生油岩环数分布

环数	含油砂岩 (J ₁)			生油岩 (J ₂)		
	QI-20	QI-14	QI-8	QI-27	QI-25	Q-S-1
链烷	39.4	51.1	46.5	48.3	49	49
一环	18.5	18.1	17.0	9.1	5.0	5.3
二环	18.1	14	15.6	6.7	5.0	5.9
三环	11.3	9	9.9	22.8	18.7	17.2
四环	8.8	7.7	8.1	8.7	12.4	14.2
五环	3.6	0.2	2.9	4.4	10.1	16.4

用 5 α 系列规则甾烷 C₂₇、C₂₈、C₂₉ 作三角分布图(图 5)。可以显示出塔东南侏罗系含油砂岩与生油岩具有明显的物源指示特征。在侏罗系含油砂岩中，C₂₈ 麦角甾烷较为丰富，说明，它的母质来源较多来自菌类和硅藻。而侏罗系生油岩，C₂₉ 谷甾烷含量很高，最高达 62.71%，显示了母质来源以陆源高等植物为主。

含油砂岩 C₂₉ 谷甾烷含量虽然也达 44.29% 但并不能说明它有较多的高等植物来源。相反，可能更多的来自菌类和硅藻。因为，有资料研究表明，C₂₉ 谷甾烷亦可能来源于某些菌类和硅藻，而如何区分来自高等植物的 C₂₉ 谷甾烷和来自菌类与硅藻的 C₂₉ 谷甾烷，还是个尚未解决的问题。在 5 α -规则甾烷分布图中，来自塔东北的海相原油以及塔西南石炭系海相碳酸盐岩与塔东南的含油砂岩分布在同一区域内。说明，含油砂岩的源岩应与海相生油岩有亲缘关系。

2.1.4 同位素特征

同位素分析显示。侏罗系生油岩饱和烃碳同位素与陆相生油岩相似，分布在 -29.53 ~ -31.63‰ 左右；而含油砂岩饱和烃碳同位素为 -32.51 ~ -38.79‰，与海相原油相似。

2.2 侏罗系含油砂岩与生油岩成熟度对比

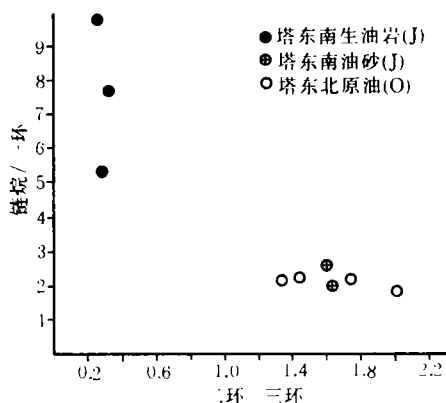


图4 塔东南及邻近区饱和烃环数分布

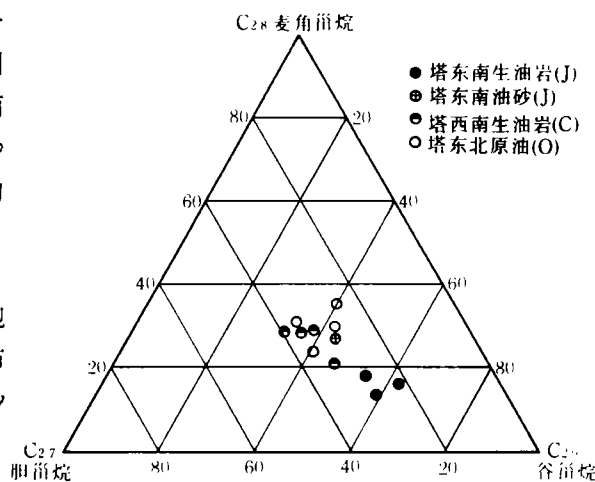


图5 塔东南及邻近区生油岩、油砂、原油 5 α 系列规则甾烷分布图

从前面的饱和烃色谱分析以及镜煤反射率已经看出,生油岩饱和烃具明显的奇偶优势, OEP 值为 2.28~2.92,镜煤反射率为 0.5%,显示了生油岩处于低成熟阶段。而含油砂岩则明显地显示出成熟度高的特点(表 3,图 1)。

从表 4、图 3 中可以看出,含油砂岩为低环丰度高、高环丰度低;生油岩为低环丰度低,高环丰度高的分布特点。这说明了含油砂岩的成熟度高于生油岩的成熟度。众所周知,环烷随着热演化的增加而断链、开环。高环不断减少,低环增加。

生物标记化合物中甾烷与萜烷的一些参数,也明显地看出侏罗系生油岩与含油砂岩具有不同的成熟程度。

2.2.1 甾烷类的成熟度参数

甾烷中最常用的成熟度参数是 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₉的 20S/(20S+20R)在成岩作用和成熟作用过程中,甾烷将转化为更为稳定的构型。随着成熟度增加,各种异构体发生相互转化作用,即 20R 向 20S 转化,直达到平衡值。用 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₉的 20S/(20S+20R)与 C₂₉的 $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 两个成熟度参数对侏罗系含油砂岩和生油岩进行划分,其分布结果见图 6。可以看出,含油砂岩中原油其 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₉的 20S/(20S+20R)比值为 0.45 左右,说明 20R 构型与 20S 构型已基本达平衡表明其成熟度较高。而生油岩 $\alpha\alpha\alpha$ -C₂₉的 20S/(20S+20R)比值仅为 0.12~0.17,说明 20R 构型占主导地位,显示了演化较低,为低成熟阶段。此外,图中还显示了含油砂岩的成熟度与来自塔东北的海相原油以及塔西南石炭系的海相碳酸盐岩具有较好的一致性。

2.2.2 萜烷类成熟度参数

萜烷类成熟度指标较多,其中较常用的有五环三萜烷类的 T_m/T_s、17 α , 21 β -C₃₁与 17 α , 21 β -C₃₂升藿烷的 S 构型与 R 构型比值等。图 7、图 8 是依据以上参

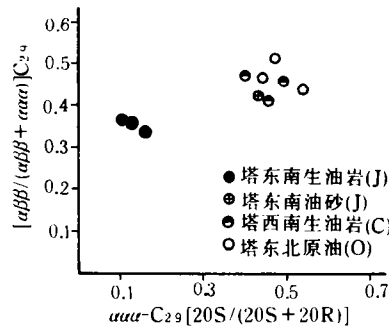


图 6 塔东南及邻近区生油岩、油砂、原油甾烷分布图

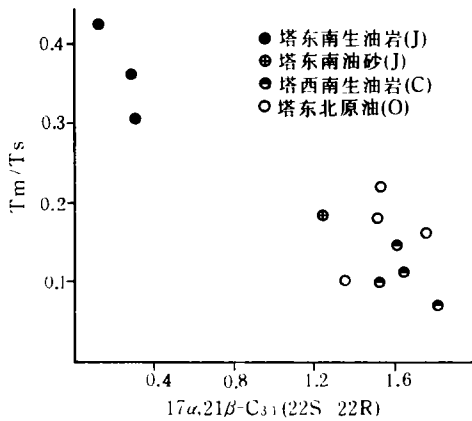


图 7 塔东南及邻近区生油岩、油砂、原油五环三萜烷分布图

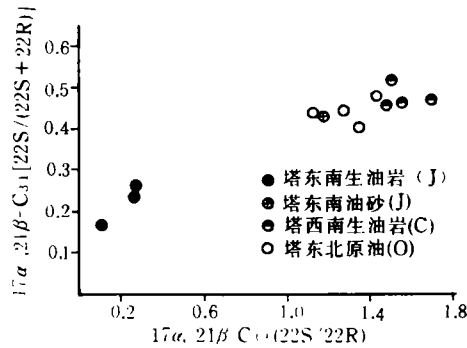


图 8 塔东南及邻近区生油岩、油砂、原油成熟度分布图

数所作的成熟度分布图。分布显示,侏罗系含油砂岩 T_m/T_s 为 1.84,生油岩为 3.04~13.02。 $17\alpha, 21\beta-C_{31}$ 的 $22S/(22S+22R)$, 含油砂岩为 0.45 左右,生油岩为 0.17~0.27 之间。 $17\alpha, 21\beta-C_{31}$ 的 $22S/22R$, 含油砂岩为 1.20,生油岩为 0.13~0.3。反映了含油砂岩以 S 构型占主导地位,说明其成熟度较高。而侏罗系生油岩成熟度偏低。

2.3 含油砂岩与原油的对比

以上对比结果,可以看出,塔东南侏罗系生油岩虽然为较好生油岩,但其母质来源以陆源高等植物为主,且演化阶段为低成熟-未成熟阶段。而侏罗系含油砂岩,其原油母质来源反映以生物菌类、藻类等低等水生生物为主,成熟度较高。由此可判定,侏罗系生油岩不是含油砂岩的源岩。含油砂岩的源岩应与古生界海相生油岩有关。

在塔东南地区,从沉积环境来看,较好的海相生油岩是石炭系与奥陶系。由于塔东南地区工作程度较低,石炭系与奥陶系的生油岩样品难以采集,无法进行油岩对比。因而,只能通过与塔里木盆地已知源岩的原油对比,来对含油砂岩的源岩进行进一步探讨。

2.3.1 原油饱和烃环分布对比

原油饱和烃中链烷与环烷的分布与它的母质来源和演化程度有很大的关系。链烷含量的高低往往显示母质来源不同,而环烷随热演化增加,发生断链、开环,高环环烷不断减少,低环增加。用质谱法测定含油砂岩饱和烃的环数分布,并将它与塔东北地区已知源岩的原油进行对比,可研究它的油源归属。

从链烷、低环环烷烃(一环+二环+三环)、高环环烷烃(四环+五环+六环)组成的三角图(图 9)可以看出,塔东北的原油与塔东南的含油砂岩均具有高环含量低,其相对含量小于

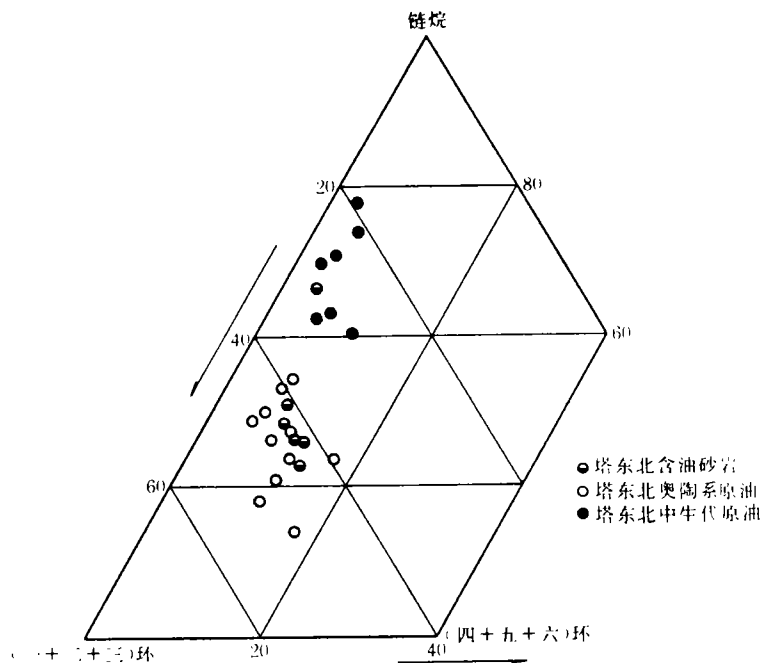


图 9 塔东南含油砂岩及邻区原油饱和烃环数分布图
(据陈正辅,1990)

20%。链烷、低环烷相对含量高的特点,显示了它们具有相近的成熟度。此外,塔东北地区已知来自中生代侏罗系的陆相原油,显示了链烷相对含量高的特点,达60~80%。而塔东北地区已知源岩为古生代奥陶系的原油,链烷含量则相对较低,为60~30%。结果表明,陆相原油与海相原油具显著差异。

塔东南含油砂岩环烷烃的分布,绝大部分显示了与塔东北奥陶系的原油具有较好的一致性,仅有个别样品介于陆相原油与海相原油之间,推测可能混入部分陆源物质。

2.3.2 原油芳烃族组成对比

在原油的热演化过程中,芳烃化合物分子结构相对稳定。因而,用芳烃族组成来进行原油对比,具有较好的可信性。

用芳烃色谱分析原油族组成,并用族组成特征来划分原油的不同属性。图10是芳烃族组成中 N_1 (萘类+茈类及二苯并呋喃+茈类+菲类)和 N_2 (苯并噻吩+二苯并噻吩+萘苯并噻吩)的分布图。从图中可以看出,不同属性的原油分别具有较好的集群性。

来自塔东北侏罗系的陆相原油,在图中显示出具有高菲类、高茈类,低含硫芳烃的特征。而来自塔东北奥陶系的海相原油则具有较高的含硫芳烃。一般情况下,海相原油及生油岩的硫茈(二苯并噻吩)高于陆相(林壬子等,1987;黄光辉,1987)。塔东南的含油砂岩在图中亦显示了较高的含硫芳烃,可以看出与塔东北奥陶系的海相原油具有较好的一致性。

综上所述,从含油砂岩的母质类型、演化特征以及与已知源岩的原油对比来看,均与塔东北来自奥陶系的原油有很好的-一致性。因而,可以认为,塔东南侏罗系的含油砂岩,其主力油源是来自古生代奥陶系生油岩。

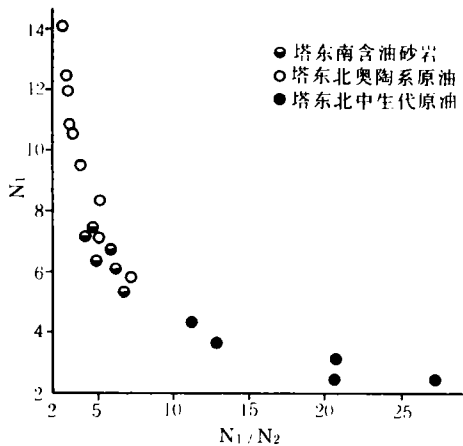


图10 塔东南含油砂岩及邻区原油芳烃 $N_2 - N_1/N_2$ 分布

N_1 : 萘类+茈类及二苯并呋喃+茈类+菲类;

N_2 : 苯并噻吩+二苯并噻吩+萘苯并噻吩

(收稿日期:1993年11月1日)

ON GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE JURASSIC OIL-BEARING SANDSTONES IN THE FAULT DEPRESSION, THE SE TARIM BASIN

Xu Xiang Hu Min Zhang Qu Bai Senshu

(Central Lab of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

In this paper, the studies of geochemical characteristics on both the Jurassic source rocks and oil-bearing sandstones in the fault depression of the southeast Tarim basin have been carried out. It is suggested that the kerogens of the Jurassic source rocks mainly come from nonmarine higher plants with low evolutionary level while those of the Jurassic oil-bearing sandstones derived from lower hydrobios with high maturity of crude oil. Therefore, it is revealed the source rocks of the Jurassic oil-bearing sandstones should be attributed to Paleozoic marine source rocks.