

塔里木盆地原油噻吩类化合物的组成特征及地球化学意义

张敏 张俊

摘要 对塔里木盆地典型原油噻吩类化合物含量和组成特征研究,发现不同类型原油苯并萘噻吩和二苯并噻吩系列化合物占芳烃化合物的百分含量相差明显,海相油含量最高,湖相油次之,而煤成油最低。本文提出了4-甲基二苯并噻吩/二苯并噻吩、(2+3)-甲基二苯并噻吩/二苯并噻吩比值是区分海相油和湖相油新的有机地球化学参数。二苯并噻吩系列化合物最大烷化度表明海相油呈现出高烷化度,而陆相油则表现为低烷化度,即从海相泥灰岩原油、海相碳酸盐岩原油到湖相油和煤成油依次减少。这是因为富硫与贫硫干酪根在生烃过程中的环化作用或支链化作用程度差异所造成的。

关键词 二苯并噻吩 海相油 湖相油 煤成油 塔里木盆地

第一作者简介 张敏 男 36岁 博士 副教授 有机地球化学与石油地质

Composition Characteristics and Geochemical Significance of Thiophene-type Compounds for Crude Oils in Tarim Basin

Zhang Min Zhang Jun

(The Geochemistry Research Center of Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou Hubei 434102)

Abstract

The relative abundance and composition characteristics of thiophene-type compounds for typical crude oils in Tarim Basin were analysed and studied systematically using GC-MS-MS technique.

The results suggest the relative abundance between benzonaphiothiophene and dibenzothiophene series of % toatal polycyclic aromatic hydrocarbons for different types of crude oils are obvious differences, the contents of marine oils are the highest, contents of lacustrine oils are lower and that of coal-forming oils are the lowest. In this paper, we propose some new organic geochemical parameters for distinguishing marine oil and lacustrine oil using the ratio values of 4-dimethyl dibenzothiophene (MDBT)/dibenzothiophene (DBT) as well as (2+3)-MDBT/DBT, for distinguishing marine marl-sourced oil and marine carbonate-sourced oil using the ratio value of 1-MDBT/DBT. Marine oils and coal-forming oils show a predominance of alkylated DBT homologues over the unsubstituted parent, but lacustrine oils differ from marine oils and coal-forming oils. However, the maximum degree of alkylation (the most abundance alkylation homologues within any given DBT series) varies, marine oils show a high degree of alkylation, which non-marine oils generally exhibit a lower degree of alkylation. So there is increasing decrease trends from marine marl-sourced oils and marine carbonate-sourced oils to lacustrine oils and coal-forming oils. We propose that alkylation trends reflect differences of crosslinking or branching on aliphatic and cyclic moieties in sulfur-rich vs. sulfur-poor kerogens.

Key words dibenzothiophene marine oil lacustrine oil coal-forming oil Tarim Basin

近年来,人们对原油芳烃特别是噻吩类化合物进行了广泛研究^[1-5],认识到该类化合物蕴藏着丰富的地质-地球化学信息,尤其在油/源和油/油对比、烃源岩和原油成熟度确定以及烃源岩沉积环境特征探讨等方面展示了广阔的应用前景。

塔里木盆地是我国最大的含油气盆地,目前的勘探实践业已证实塔北隆起和中央隆起是油气的主要富集区。但由于原油成熟度较高,饱和烃生物标志物在原油对比研究中受到一定限制,原油芳烃资料的开发和应用就显得尤为重要。为此,我们对塔里木盆地不同构造单元中100多个原油样品开展了芳烃馏分的GC/MS分析,研究结果表明噻吩类化合物(指苯并噻吩系列化合物和苯并萘噻吩,苯并噻吩因含量低未包括)因结构稳定,在不同类型原油中均可检测到,且含量和组成特征因原油类型不同而差异迥然。由鉴于此,本文选择15口井19个原油样品,对其噻吩类化合物分布规律进行系统剖析,旨在探讨海相油、湖相油和煤成油噻吩类化合物的组成特征及地球化学意义。

1 样品简况

表1列出了所分析的原油样品，这些样品取自有100多个样品的芳烃化合物数据库，它们代表塔里木盆地所发现的主要原油类型：海相碳酸盐岩原油、海相泥灰岩原油、湖相油和煤成油。原油产层自奥陶系碳酸盐岩至第三系碎屑岩，基本覆盖了盆地目前发现的主要目的层段，下面对各种烃源岩类型的原油样品作一简述。

1.1 海相碳酸盐岩原油

这类原油主要来自藻类和细菌有机质而缺乏陆源有机质。典型的烃源岩相为满加尔坳陷寒武系—下奥陶统的饥饿盆地有机相，原油主要分布在塔北隆起，如LN14井、YM2井等井原油。

1.2 海相泥灰岩原油

这些原油也主要来自藻类和细菌有机质，但与碳酸盐岩相比，烃源岩相中通常含有一定数量的泥质成分。烃源岩为塔中北斜坡中、上奥陶统的海相泥灰岩，原油集中分布于中央隆起带上。塔中北斜坡东端TZ16井、TZ24井原油源自内源台地灰泥丘有机相，而塔中4号构造上TZ421井、TZ422井原油则源自蒸发灰泥丘有机相。

1.3 湖相油

该类原油源自库车坳陷三叠系半深湖—深湖相泥岩，烃源岩中含丰富腐泥组显微组分，主要为层状藻类体和结构藻类体，镜质组和惰质组总量一般低于60%，以碎屑镜质体为主。该类烃源岩所形成正常密度的原油主要分布在塔北隆起英买力构造带和牙哈构造带^[6]，如YM7井、YM9井、YM21井、YM211井、YH301井、SA16井原油。

表1 塔里木盆地原油有机地球化学参数

Table 1 The organic geochemical parameters of crude oils in Tarim Basin

编号	井号	井深 (m)	层位	原油 类型	密度/ g·cm ⁻³	含硫量/ %	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	三环萜 藿烷	藿烷 甾烷	$\frac{20S}{20S+20R}$
1	SA3	5047.00-5051.00	K	煤成	0.814		3.00	0.17	0.07		4.04	0.44
2	Y535	519.70-518.50	J	油	0.8000	0.05	4.47	0.15	0.08	0.47	5.11	0.44
3	YM7	4705.50-4712.50	E		0.8340	0.16	1.65	0.12	0.07	0.05	9.86	0.45
4	YM7	5212.69-5277.19	O		0.8339	0.05	2.05	0.18	0.09	0.06	21.78	0.49
5	YM9	4947.65-4986.00	K	湖	0.9357	0.19	1.84	0.20	0.11	0.09	15.51	0.50
6	YM21	4481.00-4483.00	E	相	0.8452	0.13	1.76	0.07	0.04	0.22	7.29	0.54
7	YM211	4480.00-4481.00	E	油	0.8631	0.17	1.09	0.12	0.08			
8	YH301	3605.00-3738.00	N				2.91	0.26	0.12	0.08	8.63	0.42
9	SA16	4513.00-5417.00	J				2.01	0.22	0.11	0.09	9.39	0.53
10	LN10	5328.00-5314.00	O		0.8002		1.15	0.46	0.45			
11	LN10	5347.00-5381.00	O		0.8305	0.21	1.15	0.38	0.39	4.08	0.87	0.52
12	LN14	4609.75-4625.00	T		0.8460	0.28	1.00	0.43	0.50	0.77	2.46	0.46
13	YM2	5940.00-5953.00	O	海	0.8786	0.85	0.91	0.32	0.43	0.34	2.45	0.51
14	SA14	5259.25-5380.16	O	相			0.96				1.66	0.50
15	TZ421	3570.50-3575.00	C	油	0.8331	0.52	0.79	0.20	0.27	1.64	1.52	0.43
16	TZ422	3695.00-3697.00	C		0.8545	0.64	0.85	0.17	0.23	1.18	1.12	0.50
17	TZ16	3812.50-3819.50	C		0.8692	0.16	1.13	0.26	0.28	2.44	1.02	0.48
18	TZ16	4248.50-4268.00	O		0.8684	0.16	1.16	0.28	0.29	1.23	1.63	0.47
19	TZ24	3790.87-3807.21	C		0.9212	0.39	1.05	0.27	0.30	1.03	0.82	0.48

1.4 煤成油

这些原油来自陆源高等植物, 此烃源岩为库车坳陷侏罗系煤系地层(煤和煤系泥岩)。烃源岩中富含镜质组和壳质组, 贫腐泥组。原油主要分布在依奇克里克油气田和提尔根油气田, 如Y535井和SA3井原油。

2 实验方法

2.1 分离

原油样品用石油醚沉淀出沥青质后, 用 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 柱色谱分离, 分别用石油醚和二氯甲烷分离获取饱和烃和芳烃馏分。

2.2 GC、CG/MS分析

芳烃色谱分析在Finnigan - Mat TSQ45型色谱 - 质谱 - 质谱联用仪上进行, 色谱柱为SE - 54石英弹性毛细柱(300 m × 0.259 mm i.d.)。升温程序为: 100 恒温加热1 min, 后按3 /min升至300, 恒温20。进样温度300, 离子源离化能70eV, 质量扫描范围50-500Am μ 。扫描间隔为2s。噻吩类化合物的定性是根据质谱图、保留时间和文献资料, 二苯并噻吩系列化合物的质量色谱图如图1所示。

饱和烃气相色谱分析用岛津公司生产的GC - 9A色谱仪进行, 色质分析用的是Finnigan-Mat TSQ45型色谱 - 质谱 - 质谱联用仪, 色谱柱为OV-101弹性石英毛细管柱。

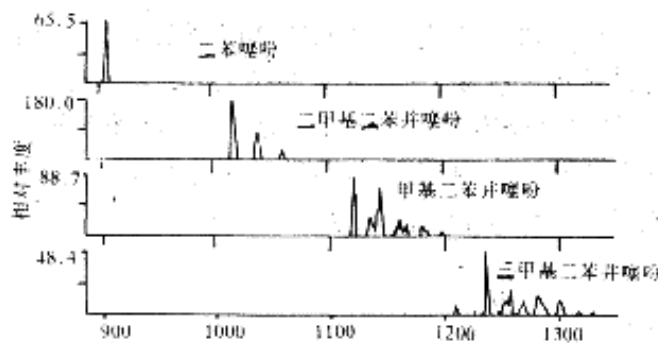


图1 原油二苯并噻吩系列化合物的质量色谱图

Fig.1 Mass chromatograms of dibenzothiophene series of crude oil

表2 塔里木盆地原油噻吩类化合物组成特征

Table 2 Composition characteristics of thiophene-type compounds for typical crude oils in Tarim Basin

编号	井号	井深 (m)	层位	原油 类型	占芳烃含量		二苯并噻吩化合物内组成				4-M DBT	23-M DBT	1-M DBT	MDBT DDBT	MDBT TMDBT	DBT P	SF ΣP	C1P C4P
					BST %	SF %	DBT %	MDBT %	DDBT %	TDBT %								
1	SA3	5047.00- 5051.00	K	煤成	0.31	1.41	16.17	34.83	36.64	12.36	1.27	0.85	0.03	0.95	2.82	0.02	0.05	80.24
2	Y535	519.70- 518.50	J	油	0.43	2.86	16.92	35.57	34.86	12.65	1.27	0.76	0.07	1.02	2.81	0.06	0.09	10.00
3	YM7	4705.50- 4712.50	E		0.26	4.09	69.32	21.37	9.31		0.17	0.11	0.03	2.30		0.13	0.12	90.39
4	YM7	5212.69- 5277.19	O		0.57	2.69	24.99	39.91	27.74	7.36	0.82	0.63	0.15	1.44	5.42	0.07	0.05	18.14
5	YM9	4947.65- 4986.00	K		0.52	2.03	17.15	30.4	38.16	14.29	1.07	0.54	0.17	0.80	2.12	0.05	0.07	17.24

6	YM21	4481.00- 4481.00		湖													0.14	0.20	21.45
7	YM211	4480.00- 4481.00	E	相	0.82	4.10	53.16	24.99	16.88	4.97	0.31	0.13	0.03	1.48	5.03	0.14	0.15	38.35	
8	YH301	3605.00- 3738.00	N	油	1.35	1.71	33.92	31.67	24.15	10.26	0.46	0.42	0.06	1.13	3.31	0.08	0.09	17.29	
9	SA16	4513.00- 4517.00	J		0.54	2.27	17.48	34.27	33.88	14.37	1.31	0.47	0.18	1.01	2.38	0.04	0.06	25.38	
10	LN10	5328.00- 5314.00	O		0.61	12.98	13.4	28.69	37.63	20.28	1.26	0.70	0.18	0.76	1.41	0.57	0.66	8.06	
11	LN10	5349.00- 5318.00	O		1.22	18.00	10.67	24.89	40.82	23.62	1.44	0.68	0.20	0.16	1.05	0.69	0.84	6.37	
12	LN14	4609.75- 4625.00	T		1.61	25.37	9.51	28.43	42.39	19.67	1.82	0.94	0.23	0.67	1.45	0.85	1.03	10.73	
13	YM2	5940.00- 5953.00	O		2.23	17.95	9.66	27.14	40.15	23.05	1.48	0.96	0.36	0.68	1.18	0.50	0.62	4.01	
14	SA14	5295.25- 5380.16	O	海	1.57	23.59	7.94	29.07	42.94	20.05	2.28	1.19	0.20	0.68	1.44	0.48	0.72	8.96	
15	TZ421	3570.50- 3575.00	C	相	1.34	48.12	8.68	27.20	41.90	22.22	1.75	1.14	0.25	0.65	1.22	2.28	3.09	6.27	
16	TZ422	3695.50- 3697.00	C	油	0.86	47.18	8.73	27.97	42.12	21.18	1.79	1.18	0.24	0.66	1.32	2.50	3.05	5.70	
17	TZ16	3812.00- 3819.50	C		2.24	24.28	8.79	24.01	40.16	27.04	1.58	0.82	0.33	0.60	0.89	0.90	0.91	4.63	
18	TZ16	4248.50- 4268.00	O		3.70	20.94	7.53	22.22	40.84	29.41	1.59	1.01	0.36	0.54	0.76	0.76	0.85	0.91	
19	TZ24	3790.87- 3807.21	C		2.40	27.76	10.83	23.55	40.34	25.28	1.20	0.58	0.40	0.58	0.93	1.68	0.08	4.95	

BSF.苯并苯噻吩；SF.二苯并噻吩系列化合物；DBT.二苯并噻吩；MDBT.甲基二苯并噻吩；DDBT.二甲基二苯并噻吩；TMDBT.三甲基二苯并噻吩；4-M.4-甲基二苯并噻吩；23-M.(2+3)-甲基二苯并噻吩；1-M.1-甲基二苯并噻吩；P.菲系列化合物；C1P.甲基菲；C4P.四甲基菲

3 结果与讨论

3.1 原油宏观组成与生物标志化合物

表1列出了原油的一些宏观组成。不同类型原油密度之间变化不大，煤成油密度略低，而湖相油和海相油相差不大，分布在 $0.83\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.90\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。但原油含硫量变化明显，煤成油含硫量最低(0.05%)，湖相油次之，分布在0.05%~0.19%之间；海相油最高，来源于海相碳酸盐岩原油的含硫量变化幅度大，从0.21%至0.85%；而来源于海相泥灰岩原油的含硫量均较高，其值一般大于0.05%。海相油姥鲛烷/植烷比值低($\text{Pr}/\text{Ph} < 1.20$)，其中蒸发相泥灰岩生成的原油(TZ421、TZ422)其值最低， $\text{Pr}/\text{Ph} < 0.90$ ；而煤成油其值大于3.00，湖相油 Pr/Ph 值则介于二者之间，其范围为1.60 - 2.90。 Pr/Ph 比值的已有多种解释，一般认为 Pr/Ph 大小的变化与烃源岩沉积时叶绿素的植醇侧链成岩演化是以氧化还是以还原为主的沉积环境有关。 Pr/nC_{17} 和 Pr/nC_{18} 的比值在不同类型原油中亦有变化^[7]，煤成油和湖相油中 $\text{Pr}/\text{nC}_{17} > \text{Pr}/\text{nC}_{18} < 0.20$ ；海相泥灰岩原油中 $\text{Pr}/\text{nC}_{17} < \text{Ph}/\text{nC}_{18} < 0.30$ ，海相碳酸盐岩原油中 $\text{Pr}/\text{nC}_{17} < \text{Ph}/\text{nC}_{18} > 0.30$ 。饱和烃生物标志物组合特征表明海相油和湖相油、煤成油存在着截然不同的差异，海相油具有高的三环萜/藿烷、低的藿烷/甾烷；相反湖相油和煤成油则表现为低的三环萜/藿烷、高的藿烷/甾烷。反映成熟度参数的 C_{29} 甾烷 $20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$ 比值均大于0.42，表征原油已经成熟。

3.2 原油噻吩类化合物的含量和组成

塔里木盆地典型原油噻吩类化合物的含量和组成列于表2, 由表可见, 不同类型原油之间其含量(占芳烃化合物的百分含量)差异明显。总体而言, 煤成油苯并萘噻吩(BSF)含量低, 为0.31%~0.43%, 而二苯并噻吩系列化合物(SF)含量亦不高(< 3.00%); 湖相油中BSF含量高于煤成油, 大多数样品的含量大于0.50%, SF含量变化大, 分布在1.71%~6.76%之间, 略高于煤成油。海相油中BSF和SF含量均大于湖相油和煤成油, BSF含量大于0.60%, 分布在0.61%~3.70%之间, 其中TZ16井、TZ24井含量最高; 海相碳酸盐岩原油SF含量(12.98%~25.37%)略低于海相泥灰岩原油(20.94%~48.12%), TZ4号构造上原油(TZ421井、TZ422井)SF含量约占芳烃化合物的一半(图2), 在塔里木盆地原油样品中可谓独树一帜。由此可见, 不同类型原油中噻吩类化合物的丰富程度可以反映烃源岩沉积条件之差异, 这是因为原油中噻吩类化合物的含量取决于还原硫与有机质的结合能力, 取决于烃源岩沉积时氧化还原条件和铁与还原硫反应形成黄铁矿的能力。海相环境下沉积的烃源岩, 由于有机质与还原硫发生了反应, 故含有富硫干酪根。这种烃源岩产出富含有机硫化物的富硫石油, 其噻吩类化合物相对含量增加。

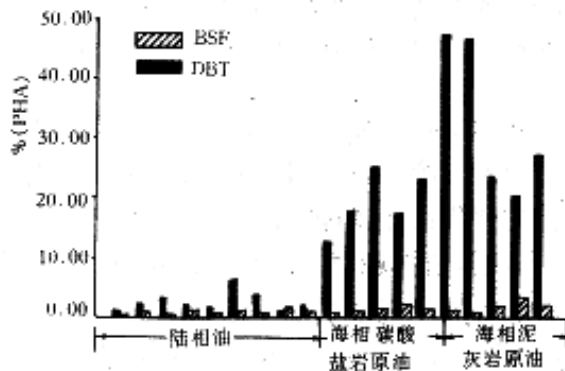


图2 塔里木盆地原油噻吩类化合物占多环芳烃百分含量分布图

Fig.2 Relative abundance of thiophene-type compounds to %PHA of crude oils in Tarim Basin

相反, 非海相环境下沉积的烃源岩由于还原硫与铁反应形成黄铁矿, 使还原硫的含量减低。来自这种类型烃源岩的原油其有机硫化物(包括噻吩类化合物)含量通常较低, 但是在一些蒸发和膏盐环境下沉积的烃源岩, 亦可形成高丰度的噻吩类化合物。因此, 根据原油中噻吩类化合物的丰度不仅可以进行原油分类, 而且可以判断烃源岩沉积环境。目前常用的指标是Pr/Ph与DBT/P之间的关系来进行原油对比和烃源岩沉积环境分类^[2], 所用参数为母体化合物的相对丰度。如果用所有烷基化异构体(二苯并噻吩系列至C₃, 菲系列到C₄)计算也有同样的关系, 那么用更高碳数的同系物计算参数会更加稳定, 因为这些化合物稳定, 不易发生诸如生物降解和水洗这样的次生蚀变作用^[8]。图3表征了塔里木盆地原油二苯并噻吩和菲的母体和烷基化异构体比值之间的关系, 结果表明母体之间的比值不仅与烷基化异构体比值成正相关性, 而且不同类型原油分散在不同区域中, 是原油对比的有效地化指标。

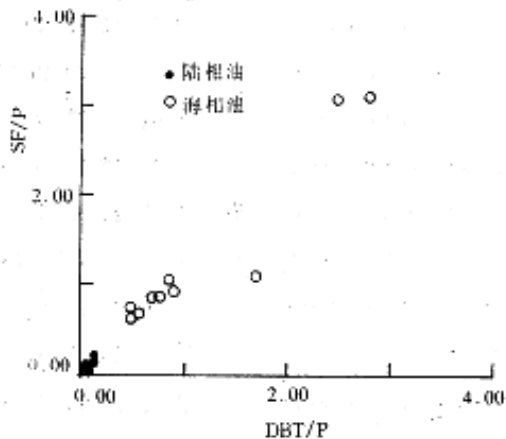


图3 塔里木盆地原油DBT/P、SF/P比值关系图

dimethylthiophene(DBT) to phenanthrene(P) and
dimethylthiophene series(SF) to phenanthrene
series(P) of crude oils in Tarim Basin

就二苯并噻吩系列化合物内组成而言,不同类型原油之间也存在着差异(图4)。海相油中二苯并噻吩(DBT)含量低于三甲基二苯并噻吩(TMDBT),主峰为二甲基二苯并噻吩(DMDBT)、甲基二苯并噻吩(MDBT)含量变化不大;煤成油中DBT含量高于TMDBT, MDBT和DMDBT含量相当;湖相油中DBT为主峰, MDBT、DMDBT和TMDBT含量显递减趋势。此外,海相油中4-MDBT/DBT、(2+3)-MDBT/DBT、1-MDBT/DBT比值均大于湖相油和煤成油。分别分布在1.20~2.28, 0.58~1.19和0.18~0.40之间,其中海相碳酸盐岩1-MDBT/DBT原油的比值(0.18~0.36)略低于海相泥灰岩原油(0.24~0.40)。湖相油中4-MDBT/DBT、(2+3)-MDBT/DBT比值最低,分别为0.17~1.13和0.11~0.63之间,而煤成油则介于两者之间,分别为1.27和0.85~0.76之间。由此可见,不同类型原油之间噻吩类化合物的含量和相对组成及有关化合物的比值均存在着截然不同的变化趋势,因此人们可以利用这些规律进行原油对比及其成因分类。

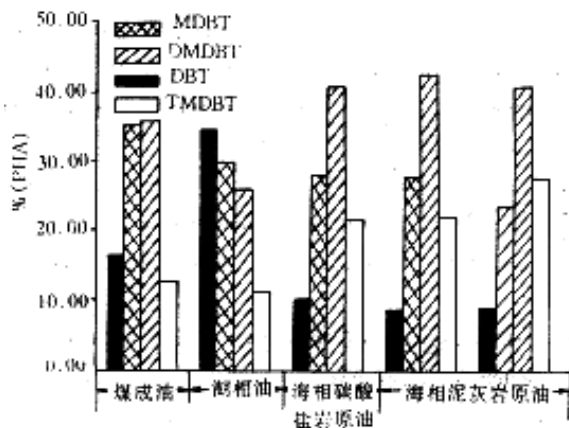


图4 塔里木盆地原油二苯并噻吩系列化合物内组成分布图

Fig.4 Relative composition in dimethylthiophene series of crude oils in Tarim Basin

3.3 原油二苯并噻吩的烷基化

已有的研究成果表明〔8〕,原油样品烷基芳烃化合物同系物均超过母体化合物。笔者在对塔里木盆地典型原油二苯并噻吩系列化合物研究中发现,湖相油中母体化合物(DBT)常大于烷基化合物(MDBT、DMDBT、TMDBT),呈主峰形式存在(表2,图2)。此外,最大烷化度(即所测定的任一芳烃化合物系列中最丰富的烷基化同系物)随原油类型的变化而变化。一般而言,海相油具有高烷化度的特点,DMDBT和TMDBT含量高;相反湖相油和煤成油具有低烷化度之特点,DBT和MDBT含量丰富。烷基化程度的差异由比值MDBT/DMDBT、MDBT/TMDBT表示,为了对比我们亦选择了C1P/C4P的比值,它们是通过计算每个系列中相应的烷基化程度的所有异构体总量之比。表2可见,除蒸发相TZ421井、TZ422井原油个别参数例外,所有海相泥灰岩原油的MDBT/DMDBT、MDBT/TMDBT、C1P/C4P比值均最低,分别小于0.66、1.00、6.00;而海相碳酸盐岩原油上述参数略高,MDBT/DMDBT变化不大,在0.67~0.76之间,MDBT/TMDBT在1.05~1.45之间,而C1P/C4P在6.37~10.73之间。湖相油和煤成油则上述参数值最大,分别大于1.00,2.00,10.00。因此,芳烃化合物尤其是二苯并噻吩系列化合物最大烷化度从泥灰岩原油、碳酸盐岩原油到湖相油和煤成油依次减少,图5和图6表明不同类型原油烷化度的变化趋势。

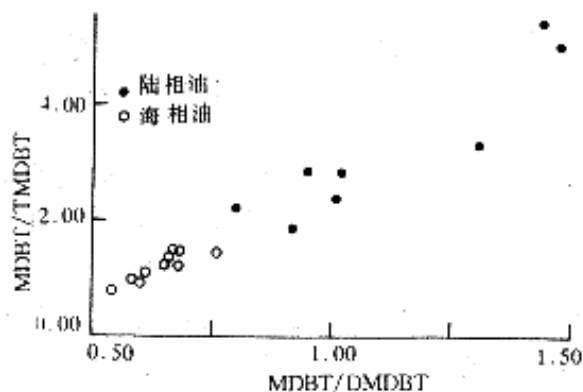


图5 塔里木盆地原油
MDBT/DMDBT、MDBT/TMDBT关系图
Fig.5 Relationship between the ratios of MDBT/DMDBT
and MDBT/TMDBT of crude oils in Tarim Basin

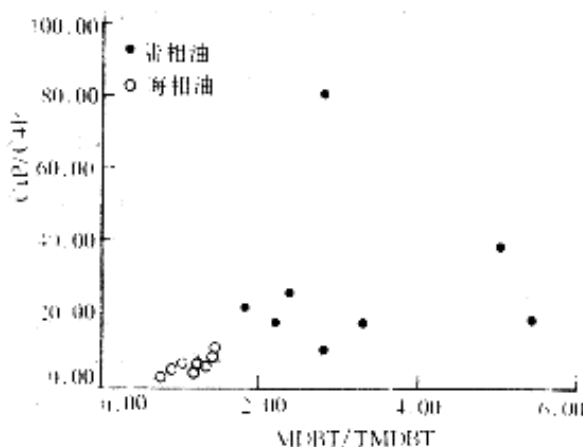


图6 塔里木盆地原油MDBT/TMDBT、C1P/C4P关系图
Fig.6 Relationship between the ratios MDBT/TMDBT
and C1P/C4P of crude oils in Tarim Basin

至于不同类型原油中二苯并噻吩烷基化趋势的差异,笔者认为不同烃源岩干酪根中的芳烃化合物原始组分结构不同,它们生烃时形成了不同烷基化程度的芳烃化合物组合。这可能是由富硫与贫硫干酪根在生烃过程中的环化作用或支链化作用造成的,抑或是硫结合程度不同造成的〔8〕。

4 结论

(1) 研究了塔里木盆地典型原油噻吩类化合物,发现该类化合物的含量、组成特征及其相关参数是进行原油对比和成因分类的有效地球化学指标。

(2) 海相油中苯并萘噻吩和二苯并噻吩系列化合物含量最高,湖相油次之,而煤成油最低。4-MDBT/DBT和(2+3)-MDBT/DBT是区分海相油和湖相油的有效指标,湖相油中(2+3)-MDBT/DBT比值分布在0.11~0.63之间,大多数样品比值小于0.50,海相油中该比值则大于0.60,大多数样品分布在1.0左右。此外,海相泥灰岩中1-MDBT/DBT比值略高于海相碳酸盐岩。

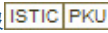
(3) 二苯并噻吩系列化合物最大烷化度从海相泥灰岩原油、海相碳酸盐岩原油到湖相油和煤成油依次减少。换言之,海相油呈现出高烷化度,而陆相油则表现为低烷化度,这是因为富硫与贫硫干酪根在生烃过程中的环化作用或支链化作用程度差异所造成的。

作者单位:江汉石油学院地球化学研究中心 湖北荆州 434102

参考文献

- 1 Fan P , Philp R P,Zhenxi L.Guangguo Y.Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of crude oils and source rocks from different sedimentary environments.Org.Geochem. , 1991,16:427 ~ 435
- 2 Hughes W B , Holba A G , Dzou L I P.The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks.Geochem.Cosmochim.Acta,1995,59:3 581 ~ 3 598
- 3 Chakhmakhchev A , Suzuki N.Saturate biomarkers and aromatic sulfur compounds in oils and condensates from different source rock lithologies of Kazakhstan,Japan and Russia.Org Geochem. , 1995 , (a):289 ~ 299
- 4 Chakhmakhchev A , Suzuki N.Aromatic sulfur compounds as maturity indicators for overmature petroleum from the Buzuluk depression Russia.Org.Geochem. , 1995(b),23:617 ~ 627
- 5 Chakhmakhchev A , Suzuki N , Takayama K.Distribution of alkylated dibenzothiophenes in petroleum as a tool for maturity assessments.Org.Geochem. , 1997,26:483 ~ 490
- 6 张敏 , 朱扬明.塔里木盆地库车油气系统原油地球化学特征.地质论评 , 1996 , 42(增刊) : 229 ~ 235
- 7 张敏 , 林壬子 , 梅博文.油藏地球化学——塔里木盆地库车含油气系统研究 , 重庆.重庆大学出版社 , 1998.35 ~ 60
- 8 Requejo A G , Sassen R , Mcdonald T , et al.Polynuclear aromatic hydrocarbons (PHA) as indications of the source and maturity of marine crude oils.Org Geochem. , 1996,24:1 017 ~ 1 033

收稿日期 : 1998-01-16 收修改稿日期 : 1998-04-30

作者单位: 江汉石油学院地球化学研究中心, 湖北荆州, 434102
刊名: 沉积学报 
英文刊名: ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA
年, 卷(期): 1999, 17(1)
被引用次数: 14次

参考文献(8条)

1. Fan P; Philp R P; Zhenxi L; Guangguo Y [Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of crude oils and source rocks from different sedimentary environments](#) 1991
2. Hughes W B; Holba A G; Dzou L I P [The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks](#)[外文期刊] 1995
3. Chakhmakhchev A; Suzuki N [Saturate biomarkers and aromatic sulfur compounds in oils and condensates from different source rock lithologies of Kazakhstan, Japan and Russia](#) 1995(01)
4. Chakhmakhchev A; Suzuki N [Aromatic sulfur compounds as maturity indicators for overmature petroleum from the Buzuluk depression Russia](#) 1995(02)
5. Chakhmakhchev A; Suzuki N; Takayama K [Distribution of alkylated dibenzothiophenes in petroleum as a tool for maturity assessments](#)[外文期刊] 1997
6. 张敏; 朱扬明 [塔里木盆地库车油气系统原油地球化学特征](#)[期刊论文]-[地质论评](#) 1996(ZK)
7. 张敏; 林王子; 梅博文 [油藏地球化学—塔里木盆地库车含油气系统研究](#) 1998
8. Requejo A G; Sassen R; McDonald T [Polynuclear aromatic hydrocarbons \(PHA\) as indications of the source and maturity of marine crude oils](#) 1996

引证文献(14条)

1. 郭小文, 何生, 石万忠 [珠江口盆地番禺低隆起轻质原油芳烃地球化学特征](#)[期刊论文]-[石油学报](#) 2008(1)
2. 魏志彬, 张大江, 张传禄, 陈建平 [甲基二苯并噻吩分布指数\(MDBI\)作为烃源岩成熟度标尺的探讨](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 2001(3)
3. 李水福, 何生 [原油芳烃中三芴系列化合物的环境指示作用](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 2008(1)
4. 肖飞, 包建平, 张文艳, 何海 [烷基二苯并噻吩类化合物研究进展](#)[期刊论文]-[广东石油化工学院学报](#) 2012(6)
5. WANG Chuan-yuan, 王传远, 杜建国, 段毅, 周晓成, 郑朝阳, 吴宝祥 [芳香烃地球化学特征及地质意义](#)[期刊论文]-[新疆石油地质](#) 2007(1)
6. 赵红静, 尹凡举, 张敏, 张春明, 梅博文 [利用芳烃化合物预测生物降解原油的粘度](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 2002(3)
7. 刘琼, 何生 [江汉盆地西南缘原油中含硫化合物的分布特征及其地球化学意义](#)[期刊论文]-[地质科技情报](#) 2008(2)
8. ZHANG Min [Compositional characteristics and geochemical significance of light hydrocarbons for crude oils in Tarim Basin, China](#)[期刊论文]-[中国地球化学学报\(英文版\)](#) 2005(3)
9. 张敏, 张俊 [水洗作用对油藏中烃类组成的影响](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 2000(3)
10. 贺光秀, 张枝焕, 彭旭阳, 朱雷, 卢另 [北京地区表层土壤中含氧、含硫杂环芳烃化合物的分布特征及污染源分析](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2011(11)
11. 李素梅, 史权, 张宝收, 张海祖, 潘娜, 赵明, 孟祥兵 [用高分辨率质谱揭示塔中4油田原油成因机制](#)[期刊论文]-[地球科学-中国地质大学学报](#) 2013(1)
12. 贺训云, 蔡春芳, 姚根顺, 熊湘华, 沈安江, 向雷, 吴敬武 [黔南坳陷油苗来源: 碳、硫同位素及生物标志物证据](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2013(3)
13. 李素梅, 史权, 张宝收, 张海祖, 潘娜, 赵明, 孟祥兵 [用高分辨率质谱揭示塔中4油田原油成因机制](#)[期刊论文]-[地球科学-中国地质大学学报](#) 2013(1)
14. 贺训云, 蔡春芳, 姚根顺, 熊湘华, 沈安江, 向雷, 吴敬武 [黔南坳陷油苗来源: 碳、硫同位素及生物标志物证据](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2013(3)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_cjxb199901019.aspx