

土库曼斯坦图兰台坪南部地区油田原油芳烃地球化学特征

罗芳¹, 刘伟², 白海龙³

(1. 中国石油川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院, 四川 成都, 610051; 2. 中国石油川庆钻探工程有限公司川西钻探公司, 四川 成都, 610051; 3. 中国石油青海油田分公司采油二厂, 青海 茫崖, 817500)

摘要:通过对图兰台坪南部地区6个不同油田原油抽提物芳烃色谱—质谱分析与研究,发现各油田原油芳烃化合物组成均具有高萘、高菲、高硫芴的特征,沉积环境整体上处于还原—强还原环境。K油田、T油田与S油田三芴系列化合物分布集中,原油生油母质类型相近;而Y油田、G油田及D油田原油样品分布偏离集群区,且均含较高的联苯系列化合物,表明原油的生源有机质偏腐殖型。选取烷基萘、三芳甾烷、甲基菲及烷基二苯并噻吩四类不同构型参数综合对比研究原油成熟度特征,除三芳甾烷类化合物成熟度参数差异较小以外,其他三类参数均可以反映出Y油田和G油田原油成熟度最高,S油田原油成熟度次之,K油田及T油田原油成熟度最低的特征。应用前人提出的相关图版及经验公式定量分析原油成熟度,仅烷基二苯并噻吩及烷基萘成熟度参数表明原油等效镜质体反射率为1.09%~1.35%,其他参数计算的成熟度值明显偏低。

关键词:原油;芳烃;生源及沉积环境;成熟度参数;图兰台坪南部

中图分类号:TE132 文献标志码:A

Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of oilfields in the southern Turantaping of Turkmenistan

LUO Fang¹, LIU Wei², BAI Hailong³

(1. CCDC Geological Exploration & Development Research Institute, Chengdu 610051, China; 2. CCDC Chuanxi Drilling Company, Chengdu 610051, China; 3. The Second Oil Plant Of Qinghai Oilfield, Mangya 817500, China)

Abstract: Through the analysis and study of aromatics chromatography-mass spectrometry of crude oil extracts from 6 different oilfields in the southern region of Turantaping, it is found that the composition of aromatics compounds in each oilfield has the characteristics of high naphthalene, high phenanthrene, and high sulfur fluorene, and the sedimentary environment is in the overall reducing-strong reducing environment. The distribution of trifuorene series compounds in the K, T, and S Oilfields is concentrated, and the type of crude oil source material is similar. The distribution of crude oil samples from the Y, G, and D Oilfields deviated from the cluster area, and all of them has higher biphenyl series compounds, indicating that the source organic matter of crude oil is a partial humic type. Four different configuration parameters of alkyl naphthalene, triarylsterane, methylphenanthrene, and alkyl dibenzothiophene are selected to comprehensively compare the maturity characteristics of crude oil. Except for triarylsteroidal maturity parameters, the other three parameters can reflect the highest maturity of crude oils in the Y and G Oilfields, followed by that in the S Oilfield, and the lowest maturity of crude oils in K and T Oilfields. The crude oil maturity was quantitatively analyzed by using the correlation chart and empirical formula proposed by previous authors. Only the maturity parameters of alkyl dibenzothiophene and alkyl naphthalene shows that the equivalent vitrinite reflectance of crude oil is from 1.09% to 1.35%, and the maturity values calculated by other parameters are significantly low.

Key words: crude oil; aromatic hydrocarbon; source and depositional environment; maturity parameter; South of Turantaping

引用格式:罗芳,刘伟,白海龙.土库曼斯坦图兰台坪南部地区油田原油芳烃地球化学特征[J].复杂油气藏,2023,16(3):256-263.

LUO Fang, LIU Wei, BAI Hailong. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of oilfields in the southern Turantaping of Turkmenistan[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3): 256-263.

芳烃作为原油的重要组成部分,常见的组分包
括萘、芴、菲、二苯并噻吩及其烷基取代物等,可提供包括生源母质类型、沉积环境、成熟度等地质信息,而且芳烃相对于饱和烃具有更强的稳定性,有

收稿日期:2023-02-04;改回日期:2023-05-11。

第一作者简介:罗芳(1985—),女,工程师,硕士学位,从事地质勘探开发研究工作,E-mail:luofang_dyy@cnpc.com.cn。

更宽的化学动力学范围。因此在高过成熟演化阶段及遭受生物降解的原油成熟度评价具有一定的优越性^[1-2]。本文在对图兰台坪南部地区6个不同油田原油抽提物芳烃色谱-质谱分析和研究基础上,对原油生烃母质来源、沉积环境及多种芳烃成熟度参数的有效性进行分析,明确研究区域原油芳烃地球化学特征。

1 区域地质概况

本文涉及的研究区域构造位置处于地中海向斜构造带图兰台坪最南端(图1),该区域主要发育中侏罗统煤系泥岩和上侏罗统海相泥质碳酸盐岩2套烃源岩。前期研究认为该区域不同油田原油均来自下伏海相烃源岩,烃源岩整体处于成熟—高成熟演化阶段^[3-5]。图兰台坪南部靠近阿尔卑斯褶皱带,经历了多期次的构造运动,导致不同次级构造单元成藏过程存在一定的差异^[6-9]。

研究区绝大部分样品中常用于判别成熟度的

生物标志化合物参数表现为已达热演化平衡状态:甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$ 参数值分布在0.25~0.64之间,平均值为0.40;甾烷 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 参数分布在0.49~0.57之间,平均为0.55,利用以上饱和烃生物标志化合物指标已经不能正确反映原油成熟度信息。

2 样品及实验条件

本次分析选取的27个原油样品主要分布于T油田、K油田、S油田及其相邻的D油田、G油田和Y油田,均位于图兰台坪最南端靠近阿尔卑斯褶皱带。色谱-质谱分析:采用Agilent6890 GC/5975iMS,色谱柱为HP-5 ms石英弹性毛细柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气为高纯度氦气(99.999%),流速为1 mL/min。升温程序为:初始炉温50℃保持2 min,以20℃/min升温至100℃,再以3℃/min升至310℃,恒定16 min。进样器温度300℃;离子化方式为EI,70 eV;数据采集方式为全扫描/多离子(SCAN/SIM)。

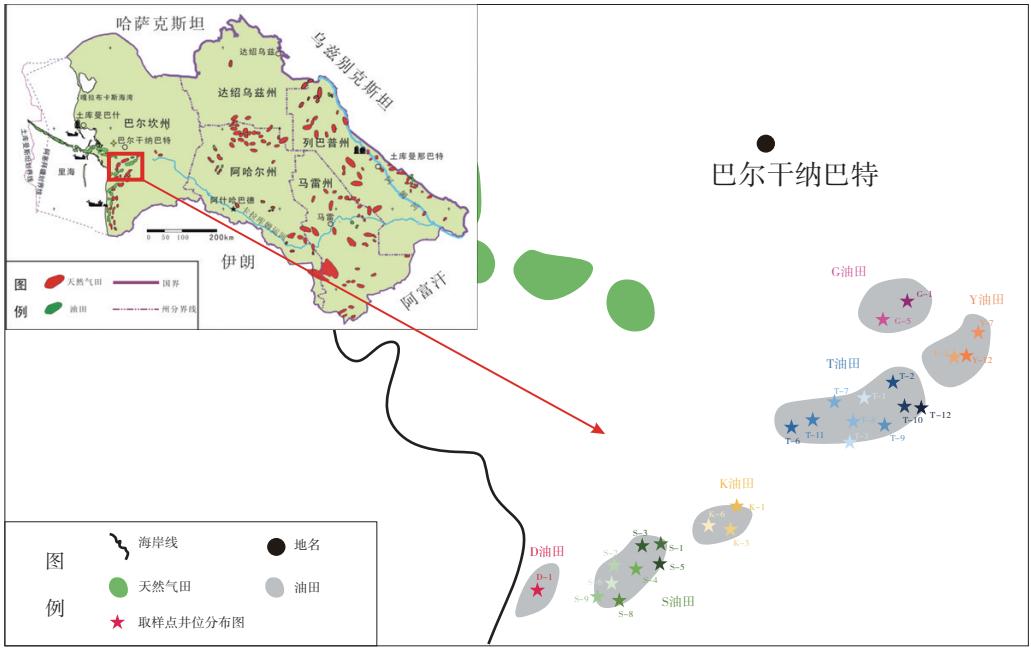


图1 土库曼斯坦图兰台坪南部地区油田构造位置及取样点井位分布

3 原油芳烃特征

芳烃馏分是原油的重要组分,一般占原油总烃的30%左右,本次原油样品分析检测出约140余种芳烃化合物,主要包括萘系列、菲系列、茚系列、联苯系列、茈系列、二苯并噻吩系列、荧蒽系列和三芳甾烷系列等化合物。对各系列芳烃化合物的相对含量进行归一化处理,结果显示:原油分析样品萘

系列和菲系列的含量相对较高,二者之和占总芳烃质量分数的48.06%~66.54%;其次为硫茚及茚系列,其质量分数之和占总芳烃的17.11%~42.09%;其他系列芳烃化合物的含量较少,仅占总芳烃质量分数的9.84%~27.44%(图2)。总体上各油田原油均具有高萘、高菲、高硫茚的特征,反映出原油的生烃母质环境处于还原—强还原环境^[10-11]。除去上述特征以外,Y油田、D油田及G油田样品含有较高

的联苯系列化合物,表明原油的生源有机质具有偏腐殖型特征。

3.1 生源沉积环境

芳烃组分中三芳系列化合物(硫茚SF-二苯并噻吩,氧茚OF-二苯并呋喃,茚F-吡咯类化合物)的分布被认为是烃源岩沉积环境的良好指标,它们可能来源于同一种先质,其基本骨架中含有一个五圆环,在强还原环境中可被硫取代生成硫茚,在弱氧化—氧化环境的滨浅湖和沼泽成煤环境下被氧化为氧茚,因此陆相淡水烃源岩及原油茚和氧茚含量较高,海相碳酸盐岩烃源岩及原油硫茚含量较高^[12-13]。

本次原油分析样品的三芳系列化合物的相对组成显示:K油田、T油田与S油田原油的集群性很好,具高硫茚、低氧茚的特征,原油生油母质类型相近;Y油田、G油田及D油田原油均偏离集群区,尤其是G-1及D-1井样品都以低硫茚、高氧茚为特征,表明其油源可能与其他油田不同(图3)。

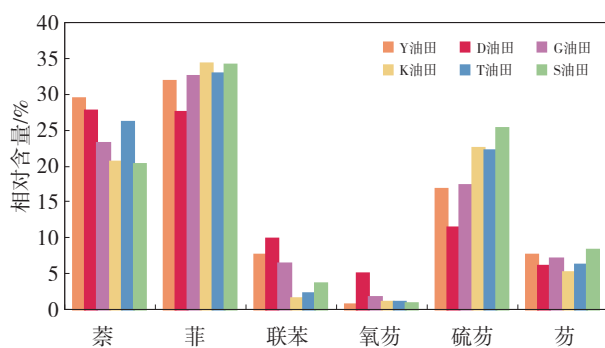


图2 土库曼斯坦图兰台坪南部地区原油芳烃组成对比

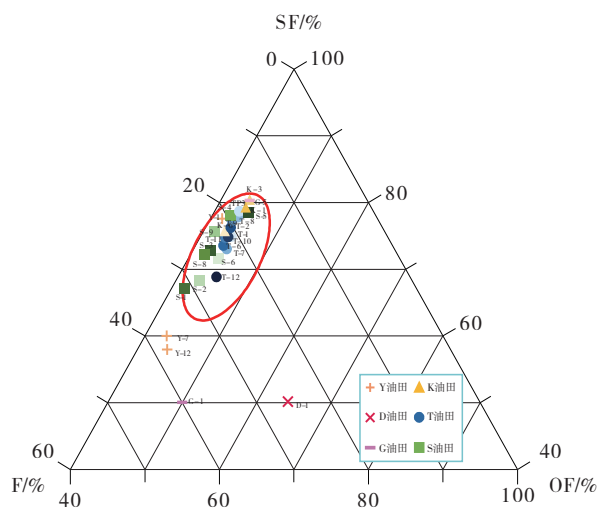


图3 土库曼斯坦图兰台坪南部地区原油芳烃三芳组成对比

3.2 原油成熟度特征

近年来,不少学者根据芳烃生物标志化合物参数来判别油气的成熟度,但是由于不同的地球化学

指标受应用范围上的限制,且受沉积环境或母源的差异性影响,研究中选取烷基萘,烷基二苯并噻吩,烷基菲及三芳甾烷四类不同构型参数来综合对比研究原油成熟度特征。

3.2.1 烷基萘系列

烷基萘系列芳烃化合物由于甲基或其他烷基在苯环上取代位置的不同,会产生热稳定性不同的异构体,可以作为良好的成熟度指标^[14-15]。近年来国内学者研究发现,不同的烷基萘参数在成熟度评价过程中的适用性存在差异:甲基萘参数(MNR, ENR)与 R_o 相关性较差;二甲基萘参数(DNR1)与成熟度关系较为复杂,在高—过成熟演化阶段会出现倒转;三甲基萘参数(TNR1, TMN)与四甲基萘参数(TeMN)与 R_o 具有显著的正相关性^[16]。

由于本次研究所选部分样品芳烃检测的各峰不全或含量很低,导致部分甲基萘,乙基萘及二乙基萘成熟度参数有部分数据空缺,所以主要以三甲基萘参数(TNR1, TMN)^[17]与四甲基萘参数(TeMN)^[18]的差异判别各区块原油样品的成熟度差别。三甲基萘参数(TNR1)分布于0.60~1.70, K-1井最低, G-1井最高;三甲基萘参数(TMN)分布于0.51~0.86, K-3井最低, Y-7井最高;四甲基萘参数(TeMN)分布于0.54~0.92, K-3井最低, S-9井最高。综合分析认为:Y油田原油成熟度最高, S油田、D油田及G油田次之,而K油田与T油田整体上成熟度较低,其中K油田K-3井原油成熟度相对最低(图4)。

除去上述烷基萘参数以外, 2,3,6-/2,3,6-+1,2,5-三甲基萘值与1,3,6,7-/1,3,6,7-+1,2,5,6-四甲基萘值受运移过程分馏效应影响较小,而且对应关系对整个热演化阶段原油和生油岩的成熟度均具有较好的适用性^[19]。通过对以上两组原油样品参数进行分析发现,仅有K-3、K-1及T-11三口井原油处在成熟演化阶段($0.7\% < R_o < 1.3\%$),其余各井原油样品均处于高熟—过成熟演化阶段($R_o > 1.3\%$)(图5)。

3.2.2 三芳甾烷成熟度参数

通常认为三芳甾烷(TAS)是由单芳甾烷(MAS)在深度受热后进一步芳构化和脱甲基化的产物,三芳甾烷 $C_{28}-20S/(20S+20R)$ 参数可作为判别低成熟度—中等成熟度有机质的有效指标^[20]。但是近年来部分学者研究发现,烃源岩及原油的三芳甾烷系列化合物含量随成熟度的增加没有明显的变化,两者没有明显的相关性^[16,21]。

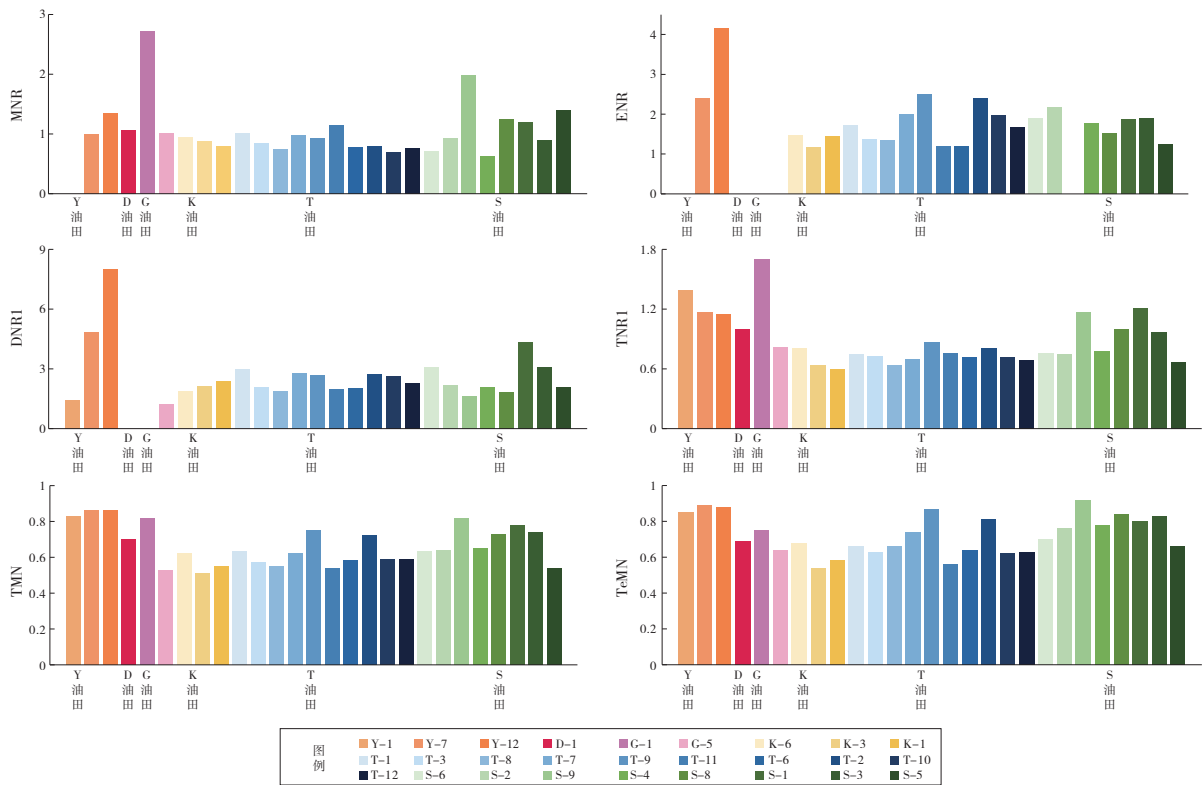


图4 土库曼斯坦图兰台坪南部地区原油烷基苯成熟度参数对比

注:甲基苯参数 $MNR=2-MN/1-MN$ 、 $ENR=2-EN/1-EN$;二甲苯参数 $DNR1=(2,6-DMN+2,7-DMN)/1,5-DMN$;三甲苯参数 $TMN=2,3,6-TMN/(2,3,6-TMN+1,2,5-TMN)$ 、 $TNR1=2,3,6-TMN/(1,4,6-TMN+1,3,5-TMN)$;四甲基苯参数 $TeMN=1,3,6,7-TeMN/(1,3,6,7-TeMN+1,2,5,6-TeMN)$

所选原油样品的三芳甾烷 $C_{28}-20S/(20S+20R)$ 值分布在 0.56 ~ 0.63, K-1 及 T-9 井最低, Y-1 井最高(表 1),但是整体上该值变化范围很小,对原油成熟度不具有指示意义。

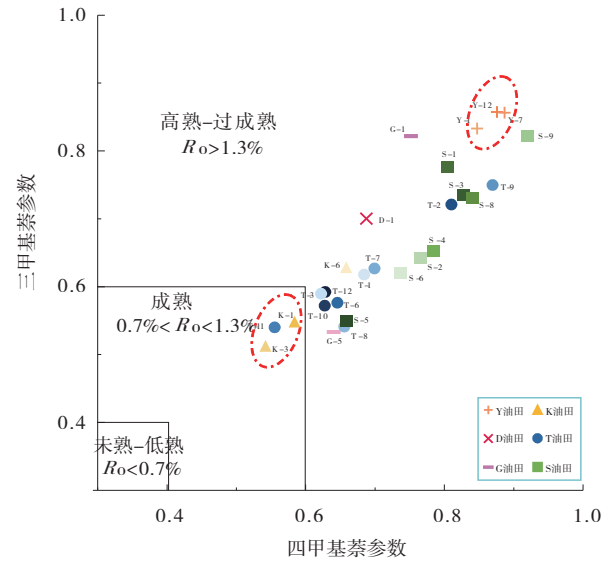


图5 土库曼斯坦图兰台坪南部地区烷基苯成熟度参数阶段划分

3.2.3 甲基菲系列

菲系列化合物的甲基化、甲基重排和脱甲基化作用同样主要受热力学控制, Radke, Kvalheim *et al.* 等学者相继提出了利用甲基菲参数 (MPI1、MPI2、F1、F2 等) 来评价烃源岩或原油的成熟度, 并建立了用甲基菲参数计算等效镜质体反射率的定量关系式^[22-23], 其对于烃源岩成熟度的评价均具有较好的适用性。同时国内部分学者研究发现, MPI1 与 MPI2 参数可能受沉积环境的影响更大。

研究中选取 MPI1 与 F1 两组甲基菲参数对原油样品的成熟度进行评价(表 1): 甲基菲 MPI1 比值分布在 0.55 ~ 1.16 之间, T-10 井最低, G-1 井最高。从各区块的分布可以看到: Y 油田最高, 平均 0.97, K 油田和 T 油田最低, 平均 0.61。F1 比值 0.39 ~ 0.61, Y 及 G 油田最高, D 油田次之, 其余地区差异不大。根据回归方程计算, MPI1 指数反映的原油成熟度 (R_{0-MPI1}) 分布在 0.73% ~ 1.09% 之间, 芳烃 F1 指数反映的原油成熟度 (R_{0-F1}) 分布在 0.70% ~ 1.19% 之间, 整体上看, 甲基菲指数计算的成熟度总体偏低。

表1 土库曼斯坦图兰台坪南部地区原油三芳甾及甲基菲成熟度参数对比

区块	井号	$C_{28}\text{-}S(S+R)$	MPI1	$R_{o\text{-}MPI1}/\%$	F1	$R_{o\text{-}F1}/\%$
Y 油田	Y-1	0.37	1.04	1.02	0.56	1.1
	Y-7	0.42	0.92	0.95	0.54	1.04
	Y-12	0.41	0.95	0.97	0.56	1.08
D 油田	D-1	0.39	0.75	0.85	0.48	0.92
G 油田	G-1	0.41	1.16	1.09	0.61	1.19
	G-5	0.4	0.69	0.81	0.43	0.8
K 油田	K-6	0.43	0.63	0.78	0.43	0.79
	K-3	0.43	0.68	0.81	0.46	0.87
	K-1	0.44	0.63	0.78	0.43	0.8
T 油田	T-1	0.43	0.63	0.78	0.42	0.79
	T-3	0.42	0.61	0.77	0.41	0.76
	T-8	0.42	0.6	0.76	0.39	0.7
	T-7	0.42	0.58	0.75	0.39	0.71
	T-9	0.44	0.62	0.77	0.39	0.72
	T-11	0.41	0.59	0.75	0.42	0.77
	T-6	0.41	0.6	0.76	0.41	0.75
	T-2	0.43	0.61	0.76	0.39	0.72
	T-10	0.43	0.55	0.73	0.39	0.71
	T-12	0.42	0.62	0.77	0.41	0.75
S 油田	S-6	0.41	0.61	0.76	0.41	0.76
	S-2	0.41	0.61	0.76	0.41	0.75
	S-9	0.38	0.76	0.85	0.44	0.81
	S-4	0.41	0.66	0.8	0.41	0.76
	S-8	0.4	0.76	0.86	0.47	0.88
	S-1	0.42	1.04	1.03	0.58	1.13
	S-3	0.41	0.75	0.85	0.46	0.86
	S-5	0.41	0.58	0.75	0.39	0.72

注：MPI1=1.5 (2-MP+3-MP)/(P+1-MP+9-MP)； R_c =0.6MPI1+0.4；F1= (2-MP+3-MP)/(2-MP+3-MP+1-MP+9-MP)； $R_{o\text{-}MPI1}$ =0.60MPI1+0.40； $R_{o\text{-}F1}$ =2.242F1-0.166

3.2.4 烷基二苯并噻吩系列

二苯并噻吩系列化合物中一些甲基重排和甲基化作用的参数与有机质和原油成熟度呈现出稳定的相关关系。Hughes (1984) 提出 4-MDBT/1-MDBT 的成熟度指标,该参数在石油大量生成以前变化较小,在较高成熟阶段发生明显变化,同时该参数可能会受到有机质类型及沉积环境等因素的影响,更加适用于 II 型和 III 型干酪根^[24]。Radke (1986)将 4-MDBT/DBT(MDR-4)作为成熟度参数

引入烃源岩热成熟度研究中,该参数受沉积环境和有机质类型等因素的影响较小^[25]。近年来国内学者提出采用二苯并噻吩和烷基二苯并噻吩的异构体相对丰度组合在一起的新型成熟度参数(即甲基二苯并噻吩分布指数)(MDBI)^[26],该参数判识成熟度受沉积环境、有机质类型等因素影响较小。

本次原油分析样品中芳烃三个成熟度参数 MDR、MDR-4 及 MDBI 分别分布于 2.25~11.26、1.34~2.46 和 0.46~0.65 之间,除 MDR-4 参数显示

G 油田、D 油田原油成熟度较高以外,其余两组参数显示 Y 油田最高,D 油田与 G 油田总体上成熟度处于 S 油田与 Y 油田之间,但是三组参数均显示 K 油田的成熟度最低(图 6)。三组参数中 MDR 参数显示出成熟度差异要比其余两组参数更明显,应该是受有机质类型不同的影响。

国内外部分学者研究发现 4,6—二甲基二苯并噻吩和 2,4—二甲基二苯并噻吩的相对含量同样会随着热演化程度增加而增大,而 1,4—二甲基二苯并噻吩的相对含量则随着热演化程度增加而减小,由此提出了 DMDBT 系列参数 $K_{4,6}$ 与 $K_{2,4}$ ^[13,27]。本次所选取原油样品的 $K_{4,6}$ 值分布于 2.04 ~ 3.54 之间, $K_{2,4}$ 值为 0.93 ~ 1.51,对比不同地区原油成熟度依然具有 Y 油田 > G(S) 油田 > T 油田 > K 油田的特征。

魏志彬等^[26]、罗健等^[27]根据不同研究地区实测资料分别推导出 MDBI 参数与 $K_{4,6}$ 、 $K_{2,4}$ 成熟度参数及与 R_o 之间的回归方程,应用各自回归方程对本次研究区所选择原油样品进行计算,结果显示(表 2): MDBI 参数计算出原油成熟度 (R_{o-MDBI}) 分布在 1.09% ~ 1.35% 之间,其中 Y 油田、D 油田、G 油田、S 油田平均值相差较小,均在 1.25% 左右, K 油田原油

平均成熟度 (R_{o-MDBI}) 为 1.11%, T 油田原油平均成熟度 (R_{o-MDBI}) 为 1.17%; $K_{4,6}$ 反映原油成熟度 ($R_{o-K_{4,6}}$) 分布于 0.86% ~ 1.07% 之间、 $K_{2,4}$ 反映的原油成熟度 ($R_{o-K_{2,4}}$) 分布在 0.76% ~ 0.83% 之间,其计算结果明显偏低。

就不同区域而言,所有参数均反映出 Y 油田和 G 油田原油成熟度最高、S 油田原油成熟度次之、K 油田及 T 油田原油成熟度最低的特征。但是由于各参数影响因素复杂性、分析化验误差以及所应用经验关系式在不同地区适用性差异等原因,计算出的原油成熟度等效 (R_o) 存在较大的差异:甲基二苯并噻吩的成熟度参数 (MDBI) 计算原油成熟度最高,二甲基二苯并噻吩参数 $K_{2,4}$ 反映的原油成熟度最低,甲基菲指数所计算出的成熟度整体上也较低,仅 G-1 井、S-1 井样品显示处在高成熟度演化阶段(图 6)。结合研究区相关烃源岩演化程度,甲基二苯并噻吩参数计算原油成熟度最接近实际情况,其他两组参数计算 R_o 明显较实际情况偏低,可能与其经验公式大多是基于 II 型或 III 型干酪根的分析相关,利用这种关系式计算不同环境、不同类型干酪根或原油的成熟度时往往存在一定误差,需建立适合于研究区的关系式定量评价有机质成熟度。

表 2 土库曼斯坦图兰台坪南部地区原油芳烃烷基二苯并噻吩系列参数分布

区块	井号	MDR	MDR-4	MDBI	$R_{o-MDBI}/\%$	$K_{4,6}$	$K_{2,4}$	$R_{o-K_{4,6}}/\%$	$R_{o-K_{2,4}}/\%$
Y 油田	Y-1	11.26	1.62	0.59	1.26	3.15	1.51	1.01	0.81
	Y-7	9.8	1.57	0.58	1.25	3.54	1.42	1.07	0.83
	Y-12	9.25	1.51	0.57	1.23	3.35	1.4	1.04	0.82
D 油田	D-1	8.96	1.8	0.57	1.24				
G 油田	G-1	9.02	2.35	0.58	1.25				
	G-5	3.85	2.46	0.6	1.28	2.77	1.12	0.96	0.8
K 油田	K-6	3.96	1.66	0.54	1.2	2.64	1.09	0.94	0.79
	K-3	2.25	1.34	0.46	1.09	2.04	0.94	0.86	0.76
	K-1	2.76	1.42	0.48	1.12	2.32	0.95	0.89	0.77
T 油田	T-1	3.34	1.52	0.51	1.16	2.71	1.07	0.95	0.79
	T-3	3.32	1.5	0.51	1.16	2.69	1.07	0.95	0.79
	T-8	2.88	1.47	0.49	1.14	2.42	0.93	0.91	0.78
	T-7	3.97	1.39	0.51	1.15	2.45	0.95	0.91	0.78
	T-9	4.28	1.76	0.56	1.22	2.36	0.94	0.9	0.77
	T-11	2.92	1.43	0.49	1.13	2.4	1	0.91	0.78
	T-6	3.63	1.5	0.51	1.16	2.61	1.06	0.93	0.79

续表2 土库曼斯坦图兰台坪南部地区原油芳烃烷基二苯并噻吩系列参数分布

区块	井号	MDR	MDR-4	MDBI	$R_{o-MDBI}/\%$	$K_{4,6}$	$K_{2,4}$	$R_{o-K4,6}/\%$	$R_{o-K2,4}/\%$
	T-2	4.04	1.65	0.54	1.2	2.29	0.94	0.89	0.77
	T-10	3.96	1.37	0.5	1.15	2.58	1.1	0.93	0.79
	T-12	3.51	1.67	0.53	1.19	2.68	1.06	0.95	0.79
S油田	S-6	4.24	1.6	0.54	1.2	2.79	1.07	0.96	0.8
	S-2	4.95	1.7	0.56	1.22	2.99	1.12	0.99	0.81
	S-9	8.28	2.43	0.65	1.35	2.73	1.03	0.95	0.79
	S-4	4.07	1.79	0.55	1.22	2.56	1.02	0.93	0.78
	S-8	6.89	1.98	0.61	1.29	3.02	1.18	0.99	0.81
	S-1	6.98	2.07	0.61	1.3	3.05	1.24	1	0.81
	S-3	5.92	1.92	0.59	1.27	2.93	1.14	0.98	0.8
	S-5	2.83	1.38	0.48	1.12	2.39	0.93	0.91	0.78

注:甲基二苯并噻吩 $MDR=4-MDBT/1-MDBT$; $MDR-4=4-MDBT/DBT$; $MDBT=4-MDBT/(DBT+1-4DDBT)$; $R_{o-MDBI}=1.33MDBT+0.48(0.67\leq R_o\leq 1.22\%)^{[26]}$; 二甲基二苯并噻吩 $K_{4,6}=4,6-DMDBT/1,4-DMDBT$, $R_{o-K4,6}=0.14K_{4,6}+0.57$; $K_{2,4}=2,4-DMDBT/1,4-DMDBT$, $R_{o-K2,4}=0.35K_{2,4}+0.46$

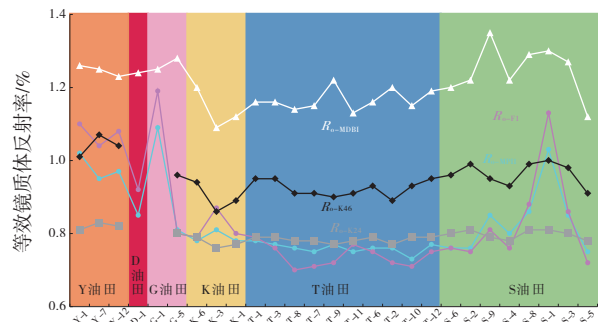


图6 土库曼斯坦图兰台坪南部地区多参数计算原油成熟度对比

4 结论

(1)K、T油田与S油田原油具有相似的烃源岩沉积条件,以反映还原沉积环境的高硫芴,低氧芴及腐泥型的低联苯系列化合物为特征,而Y油田、D油田及G油田原油生源有机质具有偏腐殖型特征。

(2)在所选原油芳烃参数中,甲基萘相关参数、甲基菲及烷基二苯并噻吩系列化合物的相关参数均可反映出Y油田原油成熟度最高,K油田及T油田原油成熟度最低的特征。S油田、G油田及D油田原油成熟度的排序存在差异。所有参数中只有烷基二苯并噻吩及部分烷基萘成熟度参数计算结果最接近实际情况,其他参数计算的原油成熟度值偏低,其定量评价有机质成熟度的关系式并不适合研究区。

参考文献:

[1] 马军,李水福,胡守志,等.芳烃化合物组成及其在油气地球化学中的应用[J].地质科技情报,2010,29(6):73-79.

[2] 王传远,杜建国,段毅,等.芳香烃地球化学特征及地质意义[J].新疆石油地质,2007,28(1):29-32.

[3] OVODOV N E, PECHERNIKOV V V. Formation of gas fields in basins of the same genetic type but of different age[M]//TROFIMUK A A, NESTEROV I I, ZHABREV I P. Regularities in distribution of hydrocarbon gases and associated components. Moscow: Nauka, 1987: 56-61.

[4] MAVYEV N C. Catagenesis of petroleum-bearing Mesozoic and upper Paleozoic formations of the southwestern Turan plate [M]. Ashkhabad Turkmenistan: Ylym, 1986: 218.

[5] KULESHOV A V, LGNATOVA V A. Present temperature regime of Jurassic and Lower Cretaceous rocks of the Amu-Darya basin as related to their oil and gas productivity [M]//KLESCHEV K A, SHEIN V S. Geology and geodynamics of petroleum basins of the USSR. Moscow: VNIGNI, 1990: 158-165.

[6] HEAFFORD A P, LICHTMAN G S. Uzbek licensing round brings geology, potential into focus[J]. Oil & Gas Journal, 1993, 91(32): 51-56

[7] BABAEV A G. Oil and gas pools in Jurassic rocks of the Bukhara - Khiva petroleum region [J]. Otechestvennaya Geologiya, 1993, 卷缺失(2): 3-12.

- [8] Ministry of Oil and Gas, State Corporation Turkmen Geology, State Corporation Turkmenogas, et al. Right Bank of the Amu Darya - Joint technical study of geological and geophysical information [R]. Turkmenistan: [s.n], 1998.
- [9] GABRIELYA N G A, DIKENSHTYEN G H, KAPUSTIN I N, et al. Regional geology of petroleum provinces of the USSR [M]. Moscow: Nedra, 1991: 284.
- [10] 朱扬明, 张洪波, 傅家谟, 等. 塔里木不同成因原油芳烃组成和分布特征[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 33-37.
- [11] 何大双, 侯读杰, 孙超, 等. 白云深水凹陷高成熟原油芳烃地球化学特征研究[J]. 地球化学, 2014, 43(1): 77-87.
- [12] ZHANG M, PHILIP P. Geochemical characterization of aromatic hydrocarbons in crude oils from the Tarim, Qaidam and Turpan Basins, NW China [J]. Petroleum Science, 2010, 7(4): 448-457.
- [13] CHAKHMAKHCHEV A, SUZUKI M, TAKAYAMA K. Distribution of alkylated dibenzothiophenes in petroleum as a tool for maturity assessments [J]. Organic Geochemistry, 1997, 26(7/8): 483-489.
- [14] 王崇敬, 张鹤, 李世宇, 等. 基于分子标志物的有机质成熟度评价参数选择及其适用范围分析[J]. 地质科技情报, 2018, 37(4): 202-211.
- [15] 周佩瑜. 石油烃中烷基萘的形成机理及其地球化学意义[J]. 地质科技情报, 2008, 27(5): 92-96.
- [16] 陈治军, 张佳琪, 牛凌燕, 等. 芳烃参数在湖相烃源岩成熟度评价中的适用性——以银根—额济纳旗盆地中生界烃源岩为例[J]. 石油学报, 2020, 41(8): 928-939.
- [17] ALEXANDER R, BASTOW T P, FISHER S J, et al. Geosynthesis of organic compounds: II. Methylation of phenanthrene and alkylphenanthrenes [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59(20): 4259-4266.
- [18] VAN AARSSSEN B G K, BASTOW T P, ALEXANDER R, et al. Distributions of methylated naphthalenes in crude oils: indicators of maturity, biodegradation and mixing [J]. Organic Geochemistry, 1999, 30(10): 1213-1227.
- [19] 陈致林, 李素娟, 王忠. 低-中成熟演化阶段芳烃成熟度指标的研究[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 192-197.
- [20] 赵兴齐, 陈践发, 郭望, 等. 开鲁盆地奈曼凹陷奈1区块原油及烃源岩芳烃地球化学特征[J]. 地球化学, 2013, 42(3): 262-273.
- [21] 梁狄刚, 陈建平. 中国南方高、过成熟区海相油源对比问题[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 8-14.
- [22] RADKE M, WELTE D H. The methylphenanthrene index (MPI): a maturity parameter based on aromatic hydrocarbons [J]. Advances in Organic Geochemistry, 1981, 1983: 504-512.
- [23] KVALHEIM O M, CHRISTY A A, TELNÆS N, et al. Maturity determination of organic matter in coals using the methylphenanthrene distribution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51(7): 1883-1888.
- [24] HUGHES W B. Use of thiophenic organosulfur compounds in characterizing crude oils derived from carbonate versus siliciclastic sources [M]//PALACAS J G. Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1984: 181-196.
- [25] RADKE M, WELTE D H, WILLSCH H. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: influence of the organic matter type [J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(1/3): 51-63.
- [26] 魏志彬, 张大江, 张传禄, 等. 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[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 242-247.
- [27] 罗健, 程克明, 付立新, 等. 烷基二苯并噻吩——烃源岩热演化新指标[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 27-31.

(编辑 刘义梅)