

文章编号:1000-0550(2017)01-0182-11

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.01.018

东海盆地西湖凹陷轻质原油芳烃地球化学特征

许婷^{1,2}, 侯读杰^{1,2}, 曹冰³, 陈晓东³, 刁慧³

1.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083

2.中国地质大学(北京)能源学院 海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室,北京 100083

3.中国海洋石油(中国)有限公司上海分公司,上海 200030

摘要 采用GC-MS实验技术,对西湖凹陷8口井12个轻质原油样品的芳烃地球化学特征进行了系统研究。平湖斜坡带北部地区NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这3口井的轻质原油与平湖斜坡带中部地区的NB25-1井和NB25-2井、西次凹的HY1-1井以及黄岩构造带的HY2-1井和HY2-2井这5口井的轻质原油芳烃化合物的分布特征和相对含量存在明显差别。轻质原油芳烃馏分中以二环和三环的化合物为主,前者富含菲系列化合物,萘系列和联苯系列化合物含量相对较低,后者则相反,其富含萘系列和联苯系列化合物,菲系列化合物含量相对较低。轻质原油生源和沉积环境的研究表明,原油的母源都主要为陆源高等植物来源,成因环境都为氧化环境,但后者的1,2,5-TMN和1,2,5,6-TeMN相对含量更高,氧芴相对含量和Pr/Ph值更大,反映其母源的陆源高等植物输入程度更大,沉积环境的氧化性更强。烷基萘、烷基菲和烷基二苯并噻吩成熟度指标表明,轻质原油以达到成熟到高熟演化阶段,平湖斜坡带北部地区的NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这3口井的轻质原油热演化程度相对更高。

关键词 西湖凹陷;轻质原油;芳烃;地球化学特征;原油成熟度

第一作者简介 许婷,女,1988年出生,博士研究生,石油地质与成藏地球化学,E-mail: xuting_0206@126.com

通讯作者 侯读杰,男,教授,E-mail: hdj@cugb.edu.cn

中图分类号 P593 **文献标识码** A

0 引言

西湖凹陷是东海陆架盆地油气勘探的一个重要凹陷,油气主要分布于平湖组和花港组,以天然气为主,天然气藏中往往伴生着一定工业价值的凝析油或轻质油藏,具有较好的轻质油勘探潜力^[1]。前人已对研究区原油的饱和烃地球化学特征进行了一些研究^[1-3],但就其成因和油源的认识不一,部分学者认为西湖凹陷凝析油或轻质油主要来源于树脂体成烃,生成的原油成熟度不可能太高^[4],部分学者认为西湖凹陷部分凝析油或轻质油为液态烃在高温条件下裂解生成,原油处于过裂解阶段^[5],部分学者认为西湖凹陷凝析油是蒸发分馏作用形成的^[4,6]。准确判定原油的成熟度对于认识原油的成因和油源问题至关重要。研究区常用的饱和烃馏萘类异构化成熟度指标均已经接近或达到异构化终点而难以反映原油的真实成熟度^[3]。芳烃作为原油中的重要部分,可提供原油生源母质、沉积环境、成熟度和油源对比方面的

重要信息,且芳烃相对于饱和烃具有更强的抗生物降解能力,在成熟度方面的应用范围更广,因此在原油成熟度评价中具有一定的优越性,对芳烃的深入研究也是对饱和烃研究的有益补充。目前对于西湖凹陷原油芳烃的地球化学特征的系统研究较为薄弱,本文的目的是通过芳烃色谱—质谱实验分析,对西湖凹陷轻质原油的芳烃生物标志化合物特征进行系统分析,以明确研究区轻质原油的生源、沉积环境和成熟度特征,以期有助于深入认识研究区的油气成因及油气富集规律。

1 地质背景

西湖凹陷位于东海陆架盆地的东北部^[7],其东与钓鱼岛隆褶带毗邻,西以虎皮礁、海礁、鱼山凸起为界,南临台北坳陷的基隆凹陷,北接福江坳陷,总面积约 5.9×10^4 km²,是东海油气勘探的重点区域^[8-10]。西湖凹陷构造具有“东西分带、南北分块、纵向多叠合”的特点,经历了断陷—拗陷—区域沉降3个演化

收稿日期:2015-11-23; 收修改稿日期:2016-03-14

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05023-001-010); 国家自然科学基金(41472108) [Foundation: National Science and Technology Major Project, No. 2011ZX05023-001-010; National Natural Science Foundation of China, No.41472108]

阶段^[11],由老到新发育古新统,中下始新统宝石组、中上始新统平湖组、渐新统花港组、下中新统龙井组、中中新统玉泉组和上中新统柳浪组、上新统三潭组及第四系东海群^[12],其中古新统一中、下始新统、始新统平湖组、渐新统花港组和中中新统龙井组为本研究区的4套烃源岩^[13],始新统平湖组煤系烃源岩是盆地的主力烃源岩层,为一套海陆过渡相沉积,暗色泥岩厚度大、分布广,煤层发育,有机质丰度普遍为中等—高,成熟度多在成熟—高成熟演化阶段,油气源条件良好^[14-16]。西湖凹陷目前发现的油气藏主要分布在斜坡带中南部和中央背斜带南部^[12]。油藏主要分布在平湖斜坡带和黄岩构造带,凝析气藏广泛分布于平湖斜坡带、黄岩构造带和天台构造带。本次研究所取西湖凹陷8口井12个轻质原油样品,井位见图1,通过芳烃化合物组成特征和相对含量来探讨轻质原油的生油和成油环境特征,选取有效的烷基萘,烷基菲和烷基二苯并噻吩成熟度参数来进行轻质原油成熟度评价。

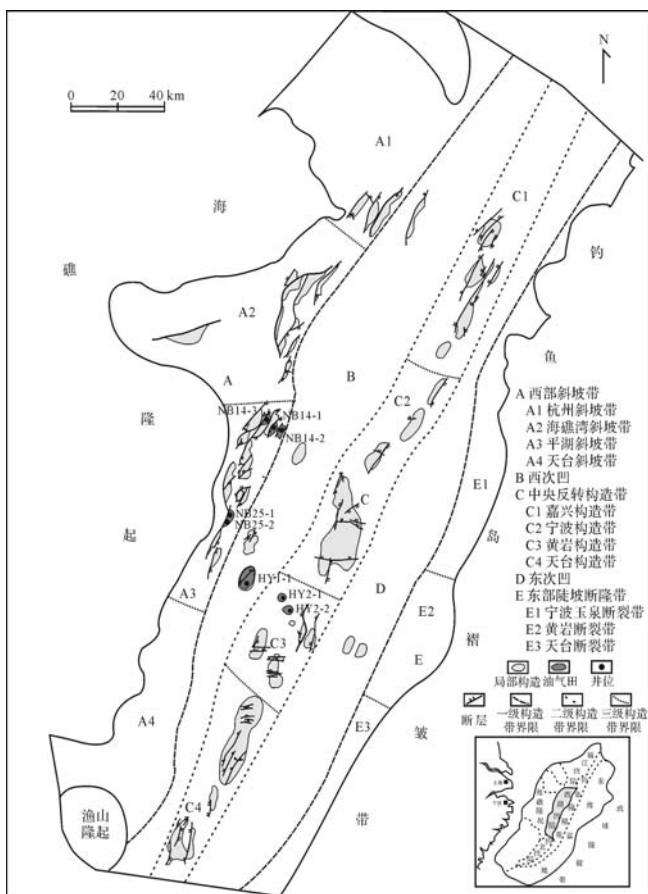


图1 西湖凹陷构造区划图及原油取样井位

Fig.1 Regional structure map of Xihu Sag and well sites of crude oil samples

2 样品和实验

西湖凹陷原油的物性有一定差异,其中 NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这3口井的原油的密度为 $0.82\text{ g/cm}^3 \sim 0.83\text{ g/cm}^3$,含蜡量为 $2.11\% \sim 10.54\%$,凝固点为 $5\text{ }^\circ\text{C} \sim 14\text{ }^\circ\text{C}$,NB25-1井、NB25-2井、HY1-1井、HY2-1井和HY2-2井这5口井原油的密度为 $0.75\text{ g/cm}^3 \sim 0.82\text{ g/cm}^3$,含蜡量为 $0.79\% \sim 1.78\%$,凝固点为 $-30\text{ }^\circ\text{C} \sim 1\text{ }^\circ\text{C}$,前者的密度、含蜡量和凝固点较后者高。原油族组成中饱和烃含量最高(含量为 $77.2\% \sim 91.5\%$ 之间),其次芳烃含量(含量为 $3.5\% \sim 20.8\%$),非烃和沥青质含量极低(含量为 $1.3\% \sim 5.4\%$)。轻质原油的 $\text{Pr}/\text{Ph} > 4$,正构烷烃无奇偶优势,OEP值大都在1.0左右, $\text{C}_{21}/\text{C}_{22}$ 分布在 $1.63 \sim 15.14$ 之间,甾烷成熟度参数 $\text{C}_{29}\text{S}/(\text{S}+\text{R})$ 、 $\text{C}_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 均已接近或达到异构化终点,轻质原油成熟度较高。

原油样品用石油醚沉淀去除沥青后,用氧化铝/硅胶柱层析进行族组分分离,分别用石油醚、二氯甲烷和三氯甲烷/乙醇分离得到饱和烃、芳烃和沥青质。后对芳烃组分进行了气相色谱—质谱分析。实验仪器为Agilent 7890A-GC/5975C-MSD,色谱柱为HP-5MS弹性石英毛细柱($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$)。进样器温度为 $300\text{ }^\circ\text{C}$,升温程序为初温 $50\text{ }^\circ\text{C}$,保留 1 min ,以 $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 $120\text{ }^\circ\text{C}$,以 $3\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 $310\text{ }^\circ\text{C}$,恒温 15 min 。载气为He,流速: $1\text{ mL}/\text{min}$ 。质谱离子化方式为EI,70 eV。数据采集方式为多离子检测(SIM)。

3 轻质原油芳烃地球化学特征

3.1 芳烃的宏观组成特征

西湖凹陷轻质原油芳烃中检测出了166种,包括12个系列化合物,即萘系列、菲系列、屈系列、二苯并噻吩系列、联苯系列、二苯并呋喃系列、芴系列、芘系列、三芳甾烷系列、苯并荧蒽系列、苯并芘系列及苯并芴系列化合物。芳烃的组成和分布特征受母质类型、沉积环境和成熟度等因素的影响。未成熟—低成熟度原油,芳烃化合物中以四环、五环化合物为主,中—高成熟度的原油,芳烃化合物以二环或三环化合物占优势^[17]。从芳烃总离子流图2可看出,西湖凹陷轻质原油芳烃馏分以二环或三环化合物为主,四、五环芳烃化合物含量很低,反映轻质原油成熟度较高。对12个系列芳烃化合物相对含量进行归一化计算,从图3可看出二环的萘和联苯以及三环的菲系列化合

物含量最高,三者含量之和占芳烃含量的74.46~85.29%,其次是二苯并噻吩系列、二苯并呋喃系列和芴系列,含量之和占芳烃含量的14.39%~21.81%,屈、芘、三芳甾烷、苯并荧蒹、苯并芘及苯并芴系列含量约为1.5%左右甚至更低。平湖斜坡带北部地区的NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这3口井的轻质原油芳烃化合物分布特征与平湖斜坡带中部地区的NB25-1井和NB25-2井、西次凹的HY1-1井以及黄岩构造带的HY2-1井和HY2-2井这5口井的轻质原油芳烃化合物分布特征存在明显差异,其中差别最显著的是萘系列、菲系列和联苯系列化合物,前者菲系列化合物含量相对较高(分布在36.24%~42.70%之间),萘系列和联苯系列化合物含量相对较低(分别分布在13.47%~27.48%和13.34%~18.29%之间),后者则相反,其萘系列和联苯系列化合物含量相对较高(分别分布在38.14%~52.39%和18.32~32.01%之

间),而非系列化合物含量相对较低(分布在6.16%~17.27%之间)。轻质原油芳烃化合物相对含量的这种差异指示原油的生源母质可能存在不同。

3.2 生源和沉积环境特征

西湖凹陷轻质原油中含量最多的萘、菲、联苯化合物,微量的稠环芳烃化合物,包括卡达烯、葱烯、苯并荧蒹、荧蒹、芘等都是陆源有机质输入的生物标志物^[18-21]。Alexander *et al.*^[22]认为1,2,5-三甲基萘(1,2,5-TMN)和1,2,5,6-四甲基萘(1,2,5,6-TeMN)可能来源于高等植物生源的五环三萜香树素或树脂生源的二环二萜刺柏酸,是陆源高等植物来源的标志物。朱扬明等^[19]研究发现,海相原油中1,2,5-/1,3,6-TMN在较低,均在0.3以下,陆相原油中该比值较高,均在0.3以上,其中煤成油到达0.71~1.48,且该指标变化随高等植物成分增加而增高。西湖凹陷轻质原油1,2,5-/1,3,6-TMN比值分布在0.44~1.22

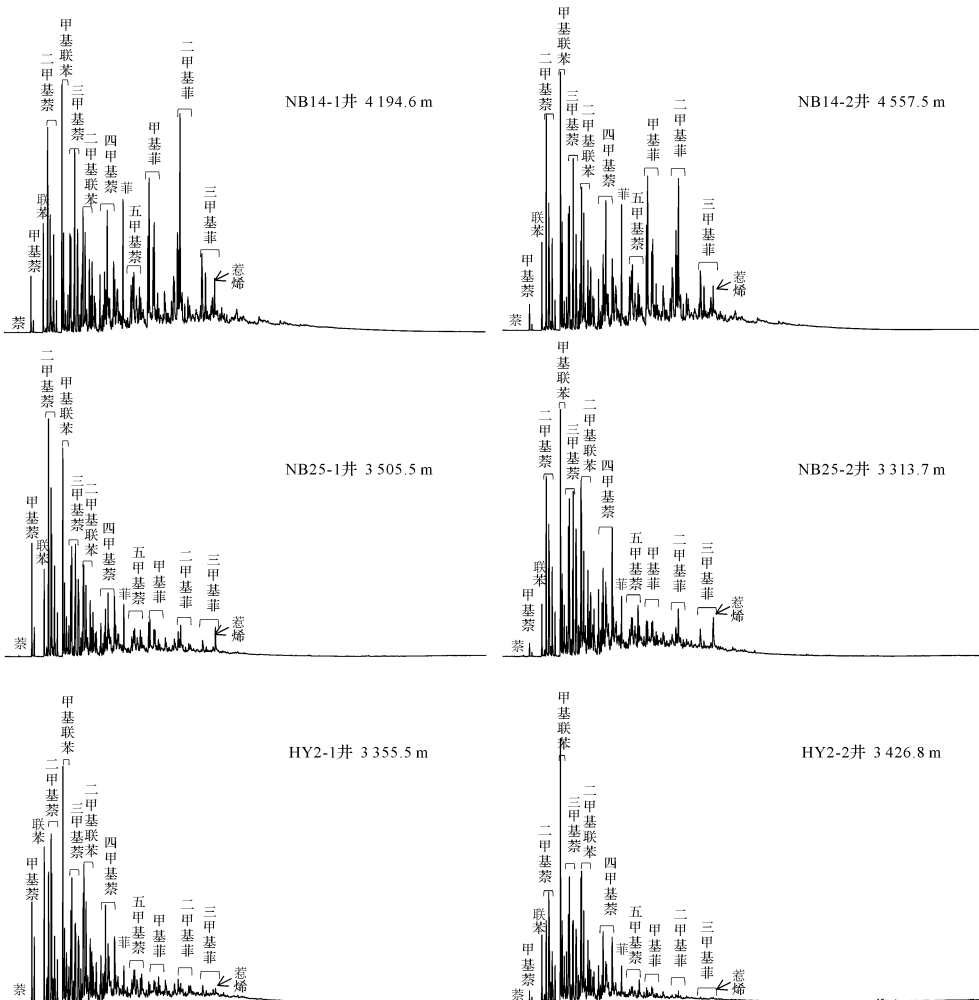


图2 西湖凹陷轻质原油芳烃 GC/MS 总离子流图

Fig.2 GC/MS TIC of aromatic fraction of light oils in Xihu sag

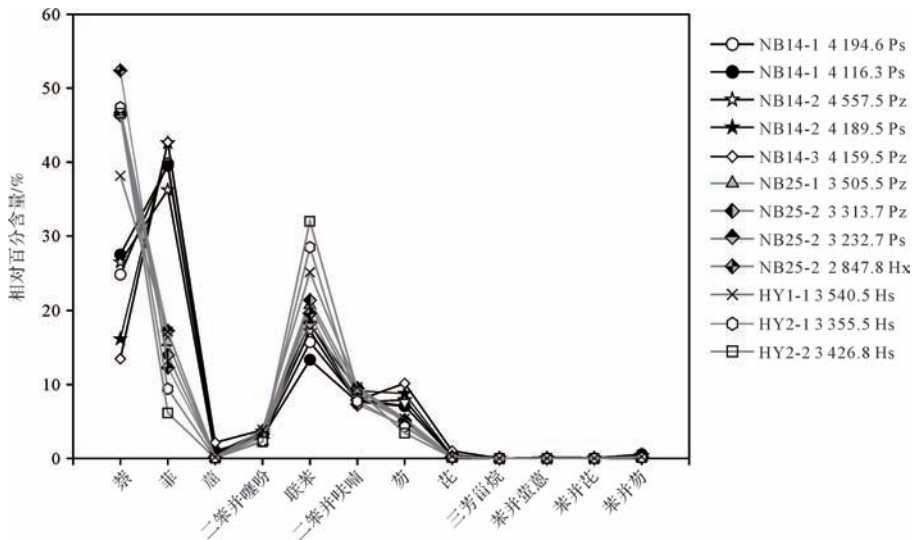


图 3 西湖凹陷轻质原油芳烃系列相对含量

Fig.3 The component of aromatic hydrocarbon of light oils in Xihu sag

之间,其中 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井的轻质原油该比值分布在 0.44~0.56 之间,NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油该比值分布在 0.65~1.22 之间(表 1),后者该比值明显高于前者;前人的研究认为海相原油中 1,2,5,6-TeMN 含量较低,占 TeMN 系列的

10%以下,陆相原油中该化合物含量较高,在湖相和煤成油中含量超过 20%^[19],西湖凹陷轻质原油 1,2,5,6-TeMN 占 TeMN 系列的 10.97%~23.93%,其中 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井的轻质原油的 1,2,5,6-TeMN 占 TeMN 系列的 10.97%~15.71%,NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井

表 1 西湖凹陷轻质原油芳烃地球化学参数

Table 1 Aromatic geochemical parameters of light oils in Xihu sag

井号	深度 /m	层位 Pz/Ph	1,2,5- /1,3,6- TMN	1,2,5- TMN	1,2,5, 6-TeMN	芴	硫芴	氧芴	MDBT/ MDBFs	MNR	DNR-1	TMNr	TeMnr	MDR	4,6-/ 1,4- DMDBT	2,4- /1,4- DMDBT	R _{c1}	R _{c2}	MPI1	MPI2	MPI3	MPR2	DPR2	R _c	
				/%	/%	/%	/%	/%							/%	/%									
NB14-1	4 194.6	Ps	4.96	0.50	6.78	10.97	39.55	16.58	43.87	0.35	4.31	47.01	0.81	0.78	11.02	3.02	1.93	0.99	1.14	1.06	1.39	1.40	1.51	4.92	1.04
NB14-1	4 116.3	Ps	4.67	0.44	7.49	11.43	39.87	16.68	43.46	0.35	4.63	40.80	0.77	0.76	10.80	3.17	2.12	1.01	1.20	1.08	1.43	1.43	1.55	4.51	1.05
NB14-2	4 557.5	Pz	4.42	0.45	8.00	13.03	41.96	17.76	40.28	0.40	4.22	43.85	0.77	0.77	13.71	3.77	2.40	1.10	1.30	1.24	1.57	1.72	1.84	4.62	1.14
NB14-2	4 189.5	Ps	4.15	0.56	7.13	15.36	40.62	16.96	42.42	0.37	5.30	57.82	0.83	0.79	13.15	3.73	2.47	1.09	1.32	1.21	1.56	1.67	1.86	4.80	1.13
NB14-3	4 159.5	Pz	4.94	0.55	8.65	15.71	48.74	18.40	32.86	0.52	4.03	36.21	0.80	0.75	12.80	3.46	2.02	1.05	1.17	1.15	1.47	1.52	1.61	4.42	1.09
NB25-1	3 505.5	Pz	5.52	0.70	12.59	19.83	32.20	14.44	53.36	0.17	3.67	33.34	0.59	0.68	8.69	2.59	1.58	0.93	1.01	0.90	1.10	1.44	1.55	3.71	0.94
NB25-2	3 313.7	Pz	6.23	1.03	17.78	23.52	27.91	18.41	53.68	0.12	2.95	30.54	0.53	0.64	6.38	2.48	1.44	0.92	0.96	0.72	0.87	1.15	1.26	2.47	0.83
NB25-2	3 232.7	Ps	5.98	0.77	13.59	19.86	29.55	15.98	54.47	0.14	2.95	30.81	0.56	0.64	7.16	2.25	1.30	0.87	0.91	0.87	1.10	1.23	1.34	3.69	0.92
NB25-2	2 847.8	Hx	7.25	0.72	13.48	22.51	29.34	22.24	48.42	0.15	2.74	29.22	0.56	0.64	5.58	2.44	1.37	0.91	0.94	0.79	0.99	1.27	1.40	3.20	0.87
HY1-1	3 540.5	Hs	5.17	1.22	14.51	21.44	28.48	20.46	51.06	0.17	2.81	31.59	0.57	0.61	7.42	2.50	1.50	0.92	0.98	0.74	0.83	0.96	0.98	1.98	0.85
HY2-1	3 355.5	Hs	5.14	0.65	11.77	18.76	29.89	16.44	53.67	0.13	1.52	14.16	0.52	0.65	7.48	2.47	1.38	0.92	0.94	0.72	0.81	1.06	1.10	2.36	0.83
HY2-2	3 426.8	Hs	5.31	0.73	14.38	23.93	22.94	15.01	62.05	0.06	1.19	13.17	0.49	0.59	4.00	1.88	1.17	0.83	0.87	0.35	0.39	0.77	0.82	1.16	0.62

注:Hs 代表花港组上段;Hx 代表花港组下段;Ps 代表平湖组上段;Pz 代表平湖组中段;甲基萘比值 $MNR = 2-MN/1-MN$;二甲基萘比值 $DNR-1 = (2,6-DMN+2,7-DMN)/1,5-DMN$;三甲基萘指数 $TMNr = 2,3,6-TMN/(2,3,6+1,2,5-TMN)$;四甲基萘指数 $TeMnr = 1,3,6,7-TeMN/(1,3,6,7+1,2,5,7-TeMN)$;二苯并噻吩参数 $MDR = 4-MDBT/1-MDBT$;根据二甲基二苯并噻吩参数计算的镜质组反射率值 $R_{c1} = 0.14 \times (4,6-DMDBT/1,4-DMDBT) + 0.57$; $R_{c2} = 0.35 \times (2,4-DMDBT/1,4-DMDBT) + 0.46$;甲基萘指数 $MPI1 = 1.5 \times (2-MP+3-MP)/(P+1-MP+9-MP)$; $MPI2 = 3 \times (2-MP)/(P+1-MP+9-MP)$; $MPI3 = (2-MP+3-MP)/(1-MP+9-MP)$; $MPR = (2-MP)/(1-MP)$;二甲基萘指数 $DPR2 = (2,7-DMP)/(1,8-DMP)$;根据甲基萘指数 $MPI1$ 计算的镜质组反射率值 $R_c = 0.6MPI1 + 0.40 (0.65 \leq R_m < 1.35)$ 。

和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油的 1,2,5,6-TeMN 占 TeMN 系列的 18.76%~23.93%, 后者 1,2,5,6-TeMN 占 TeMN 系列的比例明显高于前者(图 4), 上述研究表明西湖凹陷轻质原油母源输入主要为陆源高等植物, 但后者的母源的陆源高等植物输入程度明显更高。联苯系列来源于高等植物的木质素, 西湖凹陷 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井的轻质原油联苯系列分布在 13.34%~18.29% 之间, NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油该系列分布在 18.32%~32.01% (见图 3), 同样表明后者陆源高等植物输入强度更大。

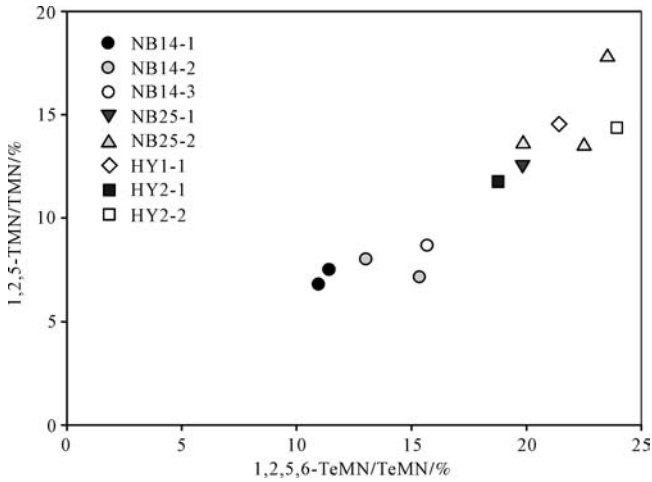


图 4 西湖凹陷轻质原油 1,2,5-TMN/TeMN 与 1,2,5,6-TeMN/TeMN 相关图

Fig.4 The correlation between 1,2,5-TMN/TeMN and 1,2,5,6-TeMN/TeMN of light oils in Xihu sag

三芴系列化合物的相对组成特征常用来指示烃源岩和原油的沉积环境,也可用来油源对比。通常在盐湖相、海相碳酸盐烃源岩或原油中硫芴含量较高,在沼泽相煤或煤成油中氧芴含量较高,在陆相淡水、微咸水湖相烃源岩或原油中芴的含量较高^[23-24]。从图 5a 三芴系列组成三角图中可看出,氧芴含量较高(32.86%~62.05%),其次是芴含量(22.94%~48.74%),硫芴含量最低(14.44%~22.24%),原油母质沉积环境整体上为氧化环境,其中 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井轻质原油的氧芴含量为 32.86%~43.87%,平均值为 40.58%,芴的含量为 39.55%~48.74%,平均值为 42.15%;NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油的氧芴含量为 48.42%~62.05%,平均值为 53.82%,芴的含量为 22.94%~32.20%,平均值为 28.61%,前者芴的含量相对较高,表明沉积环境可能主要为淡水湖相沉积环境,后者氧芴含量明显更高,表明原油母质沉积环境更偏向于氧化性较强的沼泽相沉积环境。Radke *et al.*^[25] 提出可利用甲基二苯并噻吩/甲基二苯并呋喃比值(MDBTs/MDBFs)与 Pr/Ph 值相关图确定沉积环境。从图 5b 中 MDBTs/MDBFs 与 Pr/Ph 相关图可看出,西湖凹陷 NB14-1 井、NB14-2 井、NB14-3 井这 3 口井的轻质原油与 NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油的母质沉积环境有一定差异。轻质原油的 MDBTs/MDBFs 值分布于 0.06~0.52 之间,表明甲基二苯并呋喃系列化合物相对于甲基二苯并噻吩系

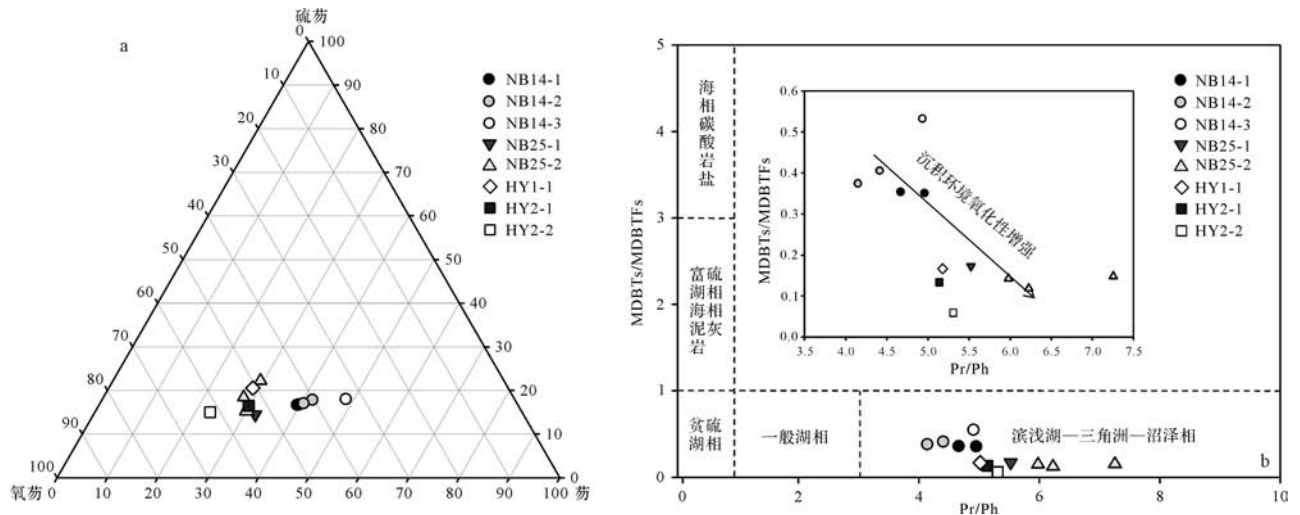


图 5 西湖凹陷轻质原油沉积环境相关图

a. 轻质原油三芴系列化合物组成三角图; b. 轻质原油 MDBTs/MDBFs 与 Pr/Ph 值相关图

Fig.5 Cross plot of depositional environments of light oils in Xihu sag

列化合物更丰富,原油母质沉积环境氧化性较强,其中 NB14-1 井、NB14-2 井、NB14-3 井这 3 口井轻质原油的 MDBTs/MDBFs 值为 0.35~0.52,对应的 Pr/Ph 值分布在 4.15~4.96 之间;NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油的 MDBTs/MDBFs 值为 0.06~0.17,对应的 Pr/Ph 值分布在 5.14~7.25,两类原油都处于图版中的滨浅湖—三角洲—沼泽相的氧化环境区域,但后者 MD-BTs/MDBFs 值相对更低,且 Pr/Ph 值相对更高,表明原油母质沉积环境氧化性更强,沉积环境参数结合前人的研究结果^[12,26]表明,前者沉积环境可能属于滨浅湖相沉积,氧化性较强,母源输入主要为陆源高等植物,后者可能属于氧化性更强的三角洲—沼泽相沉积,母源中陆源高等植物的输入程度也更高。

3.3 轻质原油成熟度

原油成熟度的判定对于认识原油的成因具有重要意义,西湖凹陷轻质原油中常规的甾萜烷成熟度指标均已接近或达到异构化终点而难以反映真实的成熟度,如 C₂₉甾萜烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 和 C₂₉甾萜烷 20S/(20S+20R) 值分布为在 0.51~0.64 和 0.35~0.62,均已接近或达到平衡终点值,说明轻质原油成熟度较高。新藿烷成熟度参数 Ts/(Tm+Ts) 是最常用的成熟度参数,该参数在较高热演化阶段仍然适用,随成熟度增加该比值增大,约在生油阶段晚期该值达到 0.5^[27]。西湖凹陷轻质原油的 Ts/(Ts+Tm) 均小于 0.45,该比值除受热演化程度的影响外,还受有机质类型的影响,在煤系有机质中往往具有较高含量的 Tm,导致 Ts/(Ts+Tm) 比值较低,因此该参数也难以准确判断研究区轻质原油的真实成熟度。芳烃中也有很多能够反映原油成熟度的指标,如烷基萘、烷基菲和烷基二苯并噻吩等^[28],且这些成熟度指标相对于饱和烃成熟度指标应用范围更广,故在原油和烃源岩成熟度评价中具有一定的优越性。考虑到西湖凹陷轻质原油热演化程度较高,因而选取能反映较高成熟度阶段的有效指标来进行西湖凹陷轻质原油成熟度评价。

3.3.1 烷基萘

研究表明多甲基萘成熟度指标是烃源岩和原油成熟度研究的很好参数。其中甲基萘比值[MNR=(2-MN/1-MN)]和二甲基萘比值[DNR-1=(2,6-DMN+2,7-DMN)/1,5-DMN]是有用的成熟度参数,可用于较高热演化阶段的成熟度研究。从西湖凹陷轻质原油的多甲基萘的 GC-MS 图可看出(图 6),NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井轻质原油的 2-MN 的

峰明显高于 1-MN 的峰,NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井轻质原油的 2-MN 的峰也比 1-MN 的峰要高,但对应的峰差明显要小一些,计算得到西湖凹陷轻质原油的 MNR 值为 1.19~5.30,其中 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井的 MNR 值为 4.03~5.30,NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的 MNR 值为 1.19~3.67(表 1),前者的成熟度明显高于后者。二甲基萘中(2,6-DMN+2,7-DMN)的峰较 1,5-DMN 峰高,且 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井对应的峰差要更大(图 6),经计算得到 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井轻质原油的 DNR-1 值较 NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井要大(表 1),同样表明 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井的轻质原油成熟度更高。

三甲基萘指数 $TMNr=2,3,6-TMN/(2,3,6+1,2,5-TMN)$ 和四甲基萘指数 $TeMnr=1,3,6,7-TeMN/(1,3,6,7+1,2,5,7-TeMN)$ 也是常用的成熟度指标,从低熟到高熟热演化阶段,这两个比值是逐渐增大的。西湖凹陷轻质原油的 2,3,6-TMN 的峰明显高于 1,2,5-TMN 的峰,1,3,6,7-TeMN 的峰明显高于 1,2,5,7-TeMN 的峰(图 6),计算得到轻质原油的 TMNr 值为 0.49~0.83,TeMnr 值为 0.59~0.79,其中 NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井轻质原油的 TMNr 值为 0.77~0.83,TeMnr 值为 0.75~0.79,NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井的轻质原油的 TMNr 值为 0.49~0.59,TeMnr 值为 0.59~0.68,前者的这两个比值明显高于后者(图 7),表明其成熟度相对更高。陈致林等^[29]研究认为,这两个比值大于 0.5,为高熟原油,两个比值介于 0.4~0.6 之间,为成熟原油,由此可知西湖凹陷轻质原油均已达到较成熟—高成熟演化阶段。

3.3.2 二苯并噻吩系列化合物

烷基二苯并噻吩分子结构称性,具有高度的热稳定性和抗微生物降解能力,在新老各时代地层(第三系→震旦系)和原油(含凝析油和轻质油)中广泛分布,并且对热应力表现出高度的、持续的灵敏性,是常用的原油成熟度评价参数,可用于低熟—高熟热演化阶段的成熟度评价^[30-33]。在热演化过程中,热稳定性不同引起的二苯并噻吩系列化合物异构体相对含量的差异能反映原油成熟度的差异。Hughes^[31]提出了甲基二苯并噻吩参数 MDR(4-MDBT 与 1-MDBT 的

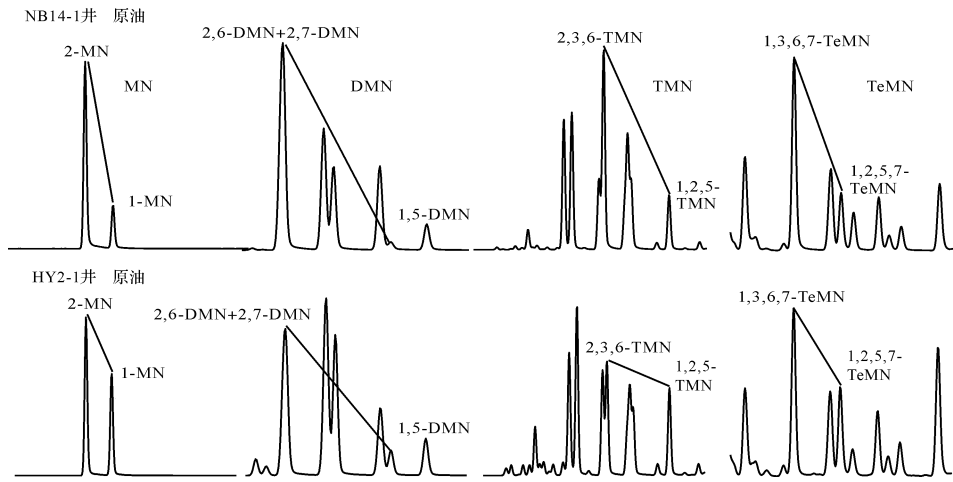


图6 西湖凹陷代表井多甲基萘系列色谱质谱图

Fig.6 Representative wells mass chromatographs of methylated naphthalene in Xihu sag

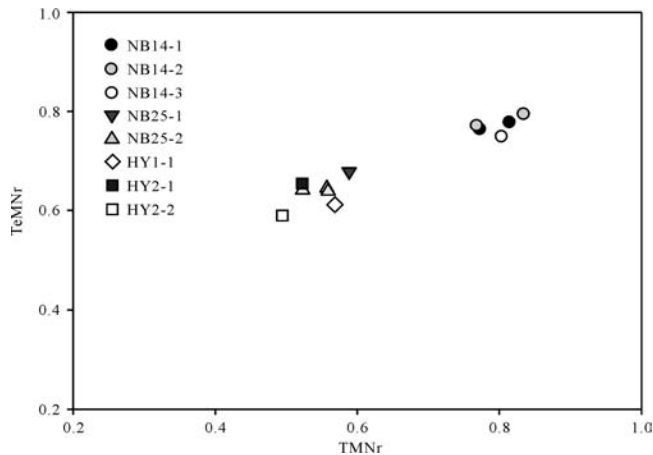


图7 西湖凹陷轻质原油 TMNr 和 TeMnr 相互关系图

Fig.7 Relations of TMNr and TeMnr of light oils in Xihu sag

比值), 4-MDBT 相对于 1-MDBT 的热稳定性更好, 随热演化程度增加两者比值逐渐增大。Chakhmakhchev *et al.* [34] 研究发现二甲基二苯并噻吩中 4,6-DMDBT 和 2,4-DMDBT 相对含量随着热演化程度增加而增大, 1,4-DMDBT 相对含量随着热演化程度增加而减小, 故 4,6-DMDBT/1,4-DMDBT 和 2,4-DMDBT/1,4-DMDBT 两个参数随成熟度增高而增大。

西湖凹陷轻质原油甲基二苯并噻吩中 4-MDBT 丰度明显高于 1-MDBT, 4-MDBT/1-MDBT 相对丰度比值分布在 4.00~13.71 之间, 表明轻质原油热演化程度较高。二甲基二苯并噻吩成熟度参数 4,6-DMDBT/1,4-DMDBT 相对丰度比值分布在 1.88~3.77 之间, 2,4-DMDBT/1,4-DMDBT 相对丰度比值分布在 1.17~2.47 之间, 且 4,6-DMDBT/1,4-DMDBT、2,4-

DMDBT/1,4-DMDBT 与 MDR 三者之间有很好的正相关关系, 随着这三个参数值的增加成熟度是增大的, NB14-1 井、NB14-2 井和 NB14-3 井这 3 口井轻质原油的这三个参数值较 NB25-1 井、NB25-2 井、HY1-1 井、HY2-1 井和 HY2-2 井这 5 口井轻质原油的这三个参数值要高, 反映其成熟度更高(图 8)。利用二甲基二苯并噻吩参数 4,6-DMDBT/1,4-DMDBT 和 2,4-DMDBT/1,4-DMDBT 建立的经验公式 [35], 计算得到西湖凹陷轻质原油等效镜质体反射率 R_{c1} 值为 0.83%~1.10%, R_{c2} 值为 0.87%~1.32%, 属于成熟—高成熟度范畴, 与饱和烃甾萜烷异构化参数和甲基萘成熟度参数所反映的成熟度特征一致。

3.3.3 菲系列化合物

菲系列化合物常用于原油和烃源岩的成熟度研究 [36], 菲系列甲基化、甲基重排及脱甲基化作用主要受热力学作用控制。Radke *et al.* [37] 提出利用菲及甲基菲的相对丰度判断成熟度的甲基菲指数 MPI, 在热演化过程中热力学不稳定的 α 位取代异构体 9-MP 和 1-MP 含量降低, 热力学稳定的 β 位取代异构体 3-MP 和 2-MP 含量相对增加 [38], MPI 是逐渐增加的。西湖凹陷轻质原油的甲基菲参数 MPI1 与 MPI2、MPI3、MPR2、DPR2 都具有很好的线性相关关系(图 9), 进一步证实了这些甲基菲成熟度指标在评价原油成熟度中的有效性。西湖凹陷甲基菲参数 MPI1 值分布在 0.35~1.24 之间, 根据 Radke *et al.* 提出经验公式 [37], 计算得到原油等效镜质体反射率 R_c 分布在 0.83%~1.14% 之间(除 HY2-2 井 R_c 为 0.62% 外, 可能有其他因素的影响, 导致成熟度偏低), 同样反映轻

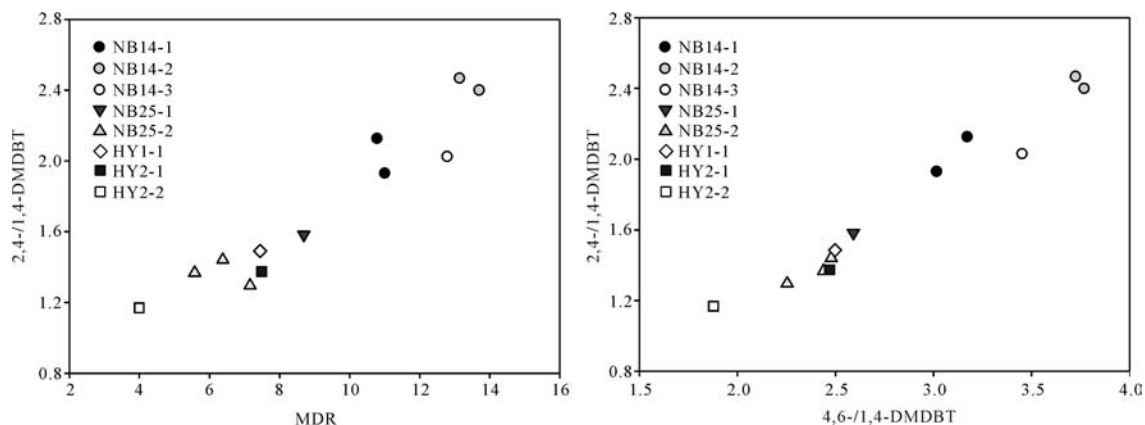


图8 西湖凹陷轻质原油烷基二苯并噻吩成熟度参数相关图

Fig.8 Relations of the alkyl dibenzothiophene maturity parameters of light oils in Xihu sag

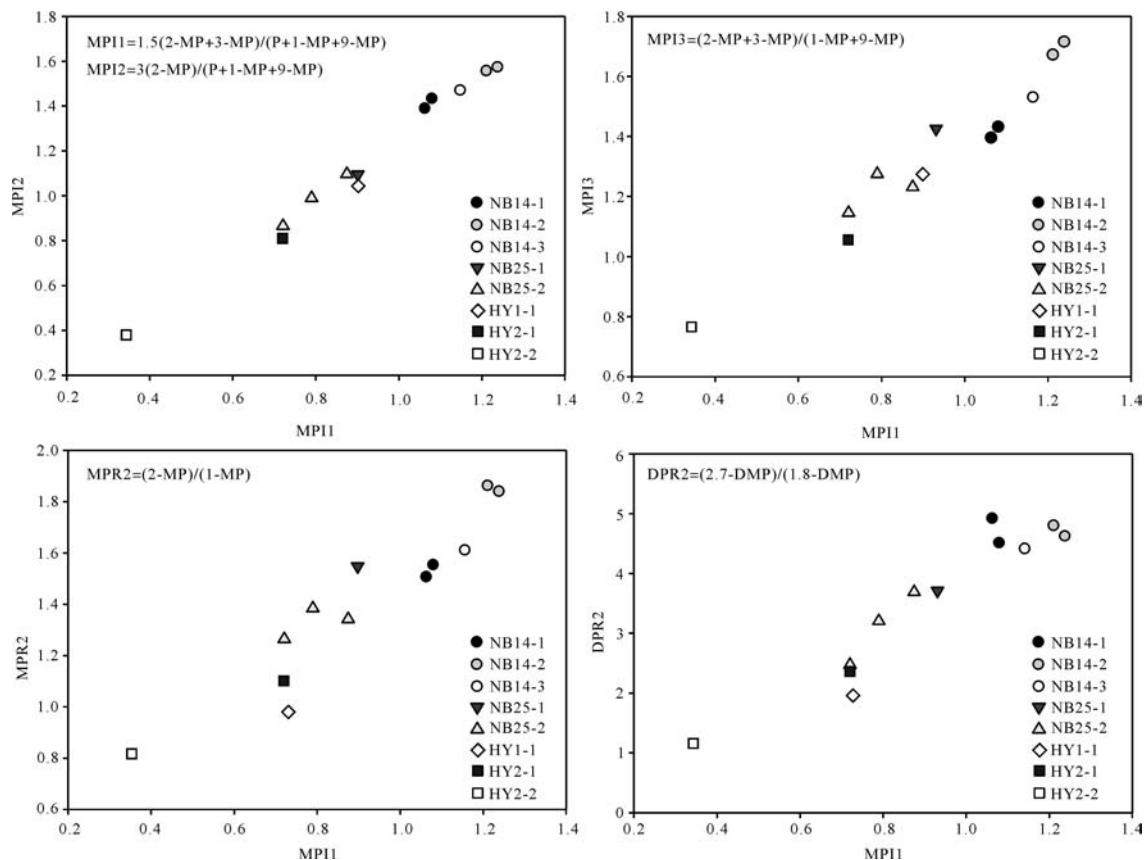


图9 西湖凹陷轻质原油烷基菲成熟度参数相关图

Fig.9 Relations of alkyl phenanthrene maturity parameters of light oils in Xihu sag

质原油已达到较高成熟度。由图9可见西湖凹陷轻质原油的成熟度存在差异,其中NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这三口井的轻质原油成熟度比NB25-1井、NB25-2井、HY1-1井、HY2-1井和HY2-2井这5口井轻质原油的成熟度要高。

根据西湖凹陷轻质原油计算的等效镜质体反射

率表明,绝大多数原油的成熟度分布在0.8%~1.1%之间,原油成熟度与平湖组烃源岩成熟度相近,反映两者有良好的成因联系。朱扬明等^[12]前人的研究表明西湖凹陷烃源岩的液态烃生成模式只有一次生烃高峰期,且高峰阶段的镜质体反射率为0.8%~1.1%,说明西湖凹陷原油成因主要为烃源岩在生烃高峰期

段成烃贡献,而不是树脂体早期生油或烃源岩在过裂解阶段生成。不同地区原油的成熟度不同,平北地区原油埋深较深(深度在4 100 m以上),成熟对相对较高,而平中地区、西次凹和黄岩地区原油埋深相对较浅(深度基本小于3 500 m),成熟度相对较低,反映母源岩及其成熟度的差异,两类原油可能来自平湖组的不同深度段,前者母源岩的埋深相对更深。

4 结论

(1) 西湖凹陷轻质原油芳烃化合物馏分中以二环和三环的化合物为主,萘、菲和联苯系列相对含量较高,三者含量之和占芳烃含量的74%以上。平湖斜坡带北部地区的NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这3口井与平湖斜坡带中部地区NB25-1井和NB25-2井、西次凹的HY1-1井以及黄岩构造带的HY2-1井和HY2-2井这5口井的轻质原油的芳烃化合物分布特征差别较大,前者富含菲系列化合物,萘系列和联苯系列化合物含量相对较低,后者则相反,其富含萘系列和联苯系列化合物,菲系列化合物含量相对较低。

(2) 西湖凹陷轻质原油具有明显的陆源高等植物输入特征,表现在芳烃组分中以萘、菲和联苯系列为主,并含有少量指示陆源高等植物输入的生物标志化合物,1,2,5-TMN/1,3,6-TMN 比值分布在0.44~1.22之间,1,2,5,6-TeMN 占 TeMN 系列的10.97%~23.93%,同样指示轻质原油为陆源有机质来源,其中平湖斜坡带中部地区的NB25-1井和NB25-2井、西次凹的HY1-1井以及黄岩构造带的HY2-1井和HY2-2井这5口井相对于平湖斜坡带北部地区的NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井这两个比值更高,反映母源的陆源高等植物输入程度更大。三芴系列化合物相对含量、MDBTs/MDBFs 比值以及 Pr/Ph 比值均表明轻质原油母质沉积环境为氧化环境,且NB25-1井、NB25-2井、HY1-1井、HY2-1井和HY2-2井这5口井的轻质原油萘芴含量和 Pr/Ph 更高,沉积环境氧化性更强。

(3) 优选芳烃中烷基萘、烷基菲和烷基二苯并噻吩成熟度参数对西湖凹陷轻质原油的成熟度进行了评价。结果表明,西湖凹陷轻质原油均已经处于成熟到高成熟演化阶段,且平湖斜坡带北部地区(NB14-1井、NB14-2井和NB14-3井)的轻质原油相对于其他地区的轻质原油成熟度更高。

参考文献(References)

- [1] 殷世艳,叶加仁,雷闯,等. 西湖凹陷平北地区平湖组原油地球化学特征[J]. 新疆石油地质,2014,35(5):542-546,569. [Yin Shiyan, Ye Jiaren, Lei Chuang, et al. Geochemical characteristics of Pinghu crude oils in Pingbei area of Xihu sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(5): 542-546, 569.]
- [2] 傅宁. 东海盆地西湖凹陷煤系烃源岩及凝析油中的二萜化合物[J]. 中国海上油气(地质),1994,8(1):21-28. [Fu Ning. Diterpenoid compounds in coal measures and condensates in Xihu sag of East China Sea Basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1994, 8(1): 21-28.]
- [3] 许婷,侯读杰,曹冰. 东海盆地西湖凹陷凝析油和轻质油生源母质剖析[J]. 地球化学,2015,44(3):289-300. [Xu Ting, Hou Dujie, Cao Bing. Study of precursors for condensates and light oils in Xihu sag of East China Sea Basin[J]. Geochimica, 2015, 44(3): 289-300.]
- [4] 傅宁,李友川,陈桂华,等. 东海西湖凹陷油气“蒸发分馏”成藏机制[J]. 石油勘探与开发,2003,30(2):39-42. [Fu Ning, Li Youchuan, Chen Guihua, et al. Pool-forming mechanism of “evaporating fractionation” of oil and gas in the Xihu depression, East China Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 39-42.]
- [5] 张坤,唐友军,胡森清,等. 平湖斜坡带原油中金刚烷的检出及其地球化学意义[J]. 石油天然气学报:江汉石油学院学报,2014,36(10):30-34. [Zhang Kun, Tang Youjun, Hu Senqing, et al. Detection of diamantane hydrocarbons in the oil of Pinghu Slope Belt and its geochemical significance [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(10): 30-34.]
- [6] 苏奥,陈汉汉,王存武,等. 东海盆地西湖凹陷油气成因及成熟度判别[J]. 石油勘探与开发,2013,40(5):521-527. [Su Ao, Chen Honghan, Wang Cunwu, et al. Genesis and maturity identification of oil and gas in the Xihu sag, East China Sea Basin [J]. Petroleum Exploration & Development, 2013, 40(5): 521-527.]
- [7] 张远兴,叶加仁,苏克露,等. 东海西湖凹陷沉降史与构造演化[J]. 大地构造与成矿学,2009,33(2):215-223. [Zhang Yuanxing, Ye Jiaren, Su Kelu, et al. The burial history and evolution of Xihu depression [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(2): 215-223.]
- [8] 张国华. 西湖凹陷高压形成机制及其对油气成藏的影响[J]. 中国海上油气,2013,25(2):1-8. [Zhang Guohua. Origin mechanism of high formation pressure and its influence on hydrocarbon accumulation in Xihu sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(2): 1-8.]
- [9] 熊斌辉,王春红,张锦伟,等. 西湖凹陷古近系平湖组煤层分布及油气意义[J]. 海洋石油,2007,27(3):27-33,40. [Xiong Binhui, Wang Chunhong, Zhang Jinwei, et al. The distribution and exploration implications of coal beds of Pinghu Formation, Paleogene in Xihu sag [J]. Offshore Oil, 2007, 27(3): 27-33, 40.]
- [10] 蔡华,张建培. 东海西湖凹陷平湖斜坡带断层特征及其封闭性[J]. 海洋地质前沿,2013,29(4):20-26. [Cai Hua, Zhang Jian-

- pei. Characteristics of faults on the Pinghu slope of Xihu sag, the East China Sea Shelf Basin and their sealing capacity[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(4): 20-26.]
- [11] 张建培,张涛,刘景彦,等. 西湖凹陷反转构造分布与样式[J]. *海洋石油*, 2008, 28(4): 14-20. [Zhang Jianpei, Zhang Tao, Liu Jingyan, et al. Distribution and style of inverted structures in Xihu depression[J]. *Offshore Oil*, 2008, 28(4): 14-20.]
- [12] 朱扬明,周洁,顾圣啸,等. 西湖凹陷始新统平湖组煤系烃源岩分子地球化学特征[J]. *石油学报*, 2012, 33(1): 32-39. [Zhu Yangming, Zhou Jie, Gu Shengxiao, et al. Molecular geochemistry of Eocene Pinghu Formation coal-bearing source rocks in the Xihu depression, East China Sea Shelf Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(1): 32-39.]
- [13] 陶士振,邹才能. 东海盆地西湖凹陷天然气成藏及分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 103-110. [Tao Shizhen, Zou Caineng. Accumulation and distribution of natural gases in Xihu sag, East China Sea Basin[J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2005, 32(4): 103-110.]
- [14] 叶加仁,顾惠荣,贾健谊. 东海西湖凹陷油气地质条件及其勘探潜力[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(4): 111-116. [Ye Jiaren, Gu Huirong, Jia Jianyi. Petroleum geological condition and exploration potential of Xihu depression, East China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28(4): 111-116.]
- [15] 刘书会,王宝言,刘成鑫. 西湖凹陷平湖地区平湖组沉积相的再认识[J]. *油气地质与采收率*, 2009, 16(3): 1-3. [Liu Shuhui, Wang Baoyan, Liu Chengxin. The recognition about sedimentary facies in Pinghu Formation of Pinghu region[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2009, 16(3): 1-3.]
- [16] 赵兰全. 西湖凹陷平湖地区油气源分析及其对成藏的影响[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(1): 26-29. [Zhao Lanquan. Analysis on hydrocarbon source and influence on reservoir formation, Pinghu area, Xihu depression[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2011, 18(1): 26-29.]
- [17] 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. [Zhao Xingqi, Chen Jianfa, Guo Wang, et al. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbon in crude oil and source rocks from Nai 1 block of Naiman depression, Kailu Basin[J]. *Geochimica*, 2013, 42(3): 262-273.]
- [18] 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. [He Dashuang, Hou Dujie, Sun Chao, et al. Study on geochemical characteristics of aromatic hydrocarbon of high-maturity crude oils in the Baiyun deep-water sag[J]. *Geochimica*, 2014, 43(1): 77-87.]
- [19] 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. [Zhu Yangming, Zhang Hongbo, Fu Jiamo, et al. Distribution and composition of aromatic hydrocarbon in various oils from Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1998, 19(3): 33-37.]
- [20] 妥进才. 柴达木盆地第三系芳烃的地球化学——二环芳烃与多环芳烃的关系[J]. *石油实验地质*, 1996, 18(4): 406-412. [Tuo Jincai. Geochemistry of the Tertiary aromatic hydrocarbons in the Qaidam Basin——relationship between dicyclic and polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1996, 18(4): 406-412.]
- [21] 王志勇,郑建京,杜洪宇,等. 东疆地区原油芳烃地球化学特征及其意义[J]. *沉积学报*, 2011, 29(1): 184-191. [Wang Zhiyong, Zheng Jianjing, Du Hongyu, et al. The geochemical characteristics and significance of aromatic hydrocarbon of eastern Xinjiang area crude oils[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(1): 184-191.]
- [22] Alexander R, Larcher A V, Kagir I, et al. The use of plant-derived biomarker for correlation of oils with source rocks in the cooper/Eromango basin systems, Australia[J]. *APEA*, 1998, 28(1): 310-321.
- [23] Zhang Min, Philp 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.
- [24] 贾存善,王延斌,顾忆,等. 塔河油田奥陶系原油芳烃地球化学特征[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(4): 384-388. [Jia Cunshan, Wang Yanbin, Gu Yi, et al. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons of crude oils from Ordovician reservoir in the Tahe oilfield[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(4): 384-388.]
- [25] Radke M, Vriend S P, Ramanampisoa L R. Alkyldibenzofurans in terrestrial rocks: influence of organic facies and maturation[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64(2): 275-286.
- [26] 张建培,徐发,钟韬,等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组—花港组层序地层模式及沉积演化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(1): 35-41. [Zhang Jianpei, Xu Fa, Zhong Tao, et al. Sequence stratigraphic models and sedimentary evolution of Pinghu and Huagang Formations in Xihu Trough[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(1): 35-41.]
- [27] 郭小文,何生. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷恩平组烃源岩特征[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(1): 31-33, 46. [Guo Xiaowen, He Sheng. Characteristics of source rocks of Enping Formation in Panyu lower uplift-baiyun sag, Pearl River Mouth Basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(1): 31-33, 46.]
- [28] 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[J]. *石油学报*, 2008, 29(1): 52-57. [Guo Xiaowen, He Sheng, Shi Wanzhong. Aromatic geochemistry characteristics of light oils from Panyu lower uplift in Pearl River Mouth Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(1): 52-57.]
- [29] 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. [Chen Zhilin, Li Sujuan, Wang Zhong. A study on maturity indicators of some aromatics in low-midmature thermal evolution zones[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(2): 192-197.]
- [30] 李景贵. 海相碳酸盐岩二苯并噻吩类化合物成熟度参数研究进展与展望[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 480-483. [Li Jingui.

- Research development and prospect of maturity parameters of methylated dibenzothiophenes in marine carbonate rocks[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 480-483.]
- [31] Hughes W B. Use of thiophenic organosulfur compounds in characterizing crude oils derived from carbonate versus siliciclastic sources [C]//*Petroleum Geochemistry and Source-Rock Potential of Carbonate Rocks*. AAPG Studies in Geology, 1984, 18: 181-196.
- [32] Ho T Y, Rogers M A, Drushel H V, et al. Evolution of sulfur compounds in crude oils[J]. *AAPG Bulletin*, 1974, 58(11): 2338-2348.
- [33] Santamaria-Orozco D, Horsfield B, di Primio R, et al. Influence of maturity on distributions of benzo-and dibenzothiophenes in Tithonian source rocks and crude oils, Sonda de Campeche, Mexico [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 28(7/8): 423-439.
- [34] 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.
- [35] 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. [Luo Jian, Cheng Keming, Fu Lixin, et al. Alkylated dibenzothiophene index——A new method to assess thermal maturity of source rocks[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2001, 22(3): 27-31.]
- [36] Dutkiewicz A, Volk H, Ridley J, et al. Geochemistry of oil in fluid inclusions in a middle Proterozoic igneous intrusion: implications for the source of hydrocarbons in crystalline rocks[J]. *Organic Geochemistry*, 2004, 35(8): 937-957.
- [37] Radke M, Welte D H. The methylphenanthrene index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons [C]//Bjoroy M. *Advances in Organic Geochemistry*. Chichester: Wiley, 1981: 504-512.
- [38] 唐琪,李美俊. 海相页岩有机质甲基菲指数与成熟度关系[J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(3): 62-66. [Tang Qi, Li Meijun. Relationship between methylphenanthrene index and maturity of organic matter in marine shale[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(3): 62-66.]

Characteristics of Aromatic Geochemistry in Light Oils from Xihu Sag in East China Sea Basin

XU Ting^{1,2}, HOU DuJie^{1,2}, CAO Bing³, CHEN XiaoDong³, DIAO Hui³

1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. MOE Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Shanghai Branch of CNOOC, Shanghai 200030, China)

Abstract: Aromatic geochemical characteristics of thirteen light oil samples from nine Wells have been studied systematically by using GC-MS experimental technique. The results show that the distribution and relative content of aromatic compounds in the light oils from Well NB14-1, Well NB14-2 and well NB14-3 in the north of Pinghu slope belt are different from those of Well NB25-1 and Well NB25-2 in the middle of Pinghu slope belt, Well HY1-1 in the Xiciao, and Well HY2-1 and Well HY2-2 in Huangyan tectonic belt. The major components of aromatic fraction in light oils are bicyclic and tricyclic compounds. The light oil samples from the former wells contain more phenanthrene hydrocarbons and less naphthalene and biphenyl hydrocarbons. Meanwhile, the latter wells contain more naphthalene and biphenyl hydrocarbons and less phenanthrene hydrocarbons. The study on the source and depositional environment shows that the source material of light oils is mainly terrestrial higher plants input, and the depositional environment is oxidizing environment, but the latter wells has a higher 1,2,5-TMN and 1,2,5,6-TeMN relative content, and has a greater relative content of dibenzofuran and Pr/Ph value, reflecting that which has a greater degree of higher terrestrial plants input, with a stronger oxidative deposition environment. Alkyl-naphthalene, alkyl-phenanthrene and alkyl-dibenzothiophen are found to be optimal parameters for assessing thermal maturity characteristics, and the study shows that the light oils have reached mature-high mature oil characteristics, and the light oils in Well NB14-1, Well NB14-2 and NB14-3 have a higher maturity relatively.

Key words: Xihu Sag; light oils; aromatic hydrocarbon; geochemical characteristic; crude oil maturity