

文章编号:1000-0550(2011)03-0605-08

塔河油田奥陶系原油有机地球化学特征及其油藏成因^①

郑朝阳¹ 段毅² 张学军³ 李红¹

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质系 西安 710069;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心 兰州 730000; 3. 河南省地矿局第二地质队 河南焦作 454000)

摘要 塔河油田是我国迄今为止发现的早古生界最大的海相碳酸盐岩型油气田,其油气地球化学特征及成因备受关注,但目前仍然存在诸多争议。通过系统采样和高精度 GC—MS 分析,精细研究了塔河油田原油的生物标记化合物分布特征,进行了油源对比并探讨了其成因。研究表明:塔河油田原油其具有相似的成因类型,其母质类型为菌藻类;浮游绿藻和宏体褐藻对原油的生成有重要贡献;原油为成熟—高成熟原油形成于海相还原环境;中上奥陶统烃源岩为塔河油田的主力烃源岩,下奥陶统和寒武系烃源岩也对塔河原油的形成做出了重要贡献;原油具有多期成藏的特征,且早期油藏遭受了一定程度的生物降解。这些研究结果为同类油气田的评价、勘探、开发提供了科学依据。

关键词 塔河油田 沙雅隆起 生物标记化合物 成熟度 油源对比

第一作者简介 郑朝阳 男 1975 年出生 博士 地球化学 E-mail: zzyhe@163.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

塔河油田构造位于塔里木盆地塔北沙雅隆起阿克库勒凸起的西南部,是我国在塔里木盆地新发现的第一个海相亿吨级大型碳酸盐岩油气田,显示了该地区古生界巨大的油气勘探前景,因此,其石油地质条件的独特性引起地质界的关注。前人对该地区油藏研究主要集中在储层类型及成因、油气运移、成藏史和输导体系等方面^[1-10],对原油地球化学及油藏成因方面的研究不够系统,且烃源岩、母质类型及成藏期次等方面仍存争议^[8-13]。本次研究通过系统的地球化学分析,研究了原油的母质类型、生成环境和成熟度,并探讨了油源及原油成因。

1 样品与实验分析

本次研究样品采集于近年来开发的新油井(图 1) 样品采集时即进行了油水分离;后在实验室低温保存;烃源岩样品来自岩芯和露头剖面,将其粉碎至 100 目,后进行索式抽提。将原油和烃源岩抽提物沉淀沥青质后,通过氧化铝/硅胶柱色谱进行分离。饱和烃和芳烃分别用环己烷和苯分离,非烃用乙醇冲洗。然后,饱和烃馏分用色谱(GC)和美国安捷伦科技公司(Agilent)制造的色谱—质谱联用仪(GC—MS)进行分析鉴定。MS 为 5973N,离子源温度为 250℃,电离电压为 70 eV。GC 为 6890N,色谱柱为

HP—5(30 m×0.32 mm) 固定相涂膜厚度 0.25 μm,载气为氦气,起始温度 80℃,以 4℃/min 升温至少 300℃,然后恒温 30 min。

2 结果与讨论

2.1 原油的母源性质及形成环境

尽管塔河油田原油遭受了一定程度的生物降解^[13],但是正构烷烃峰型完整,且分布特征相似,说明其具有多期成藏的特征。原油中正构烷烃主峰碳大多在 C₁₅~C₁₇之间,具有较高的一致性。OEP 指数为 1 左右(表 1),没有明显的奇偶优势,表明其具有较高的成熟度。C₂₁₋/C₂₂₊ 在 0.73~1.38 之间,多数样品大于 1,低碳数正构烷烃占优势,指示原油的母质来源为菌藻类,只有 4 区、6 区、7 区和 8 区的部分样品该指标小于 1,这种现象可能与原油遭到生物降解作用有关。原油中的 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 常用来研究油源的母质类型、形成环境及成熟度^[14,15],塔河油田原油该参数分布在较窄的范围内,指示其来源于生物源类似的海相还原生油环境(图 2)。

原油和烃源岩中规则甾烷的分布可以提供丰富的母源信息^[17-19]。塔河油田原油中规则甾烷 C₂₇、C₂₈ 和 C₂₉ 的相对含量分别为 22.6%~32.1%,16.5%~20.5%,48.8%~58.8%,分布特征相同,说明其

^①国家重点基础研究发展计划 973 项目(编号:2005CB422105)、国家青年科学基金项目(批准号:40802024)、中国石化海相前瞻项目(编号:YPH08103)联合资助。

收稿日期:2010-11-05; 收修改稿日期:2011-01-15

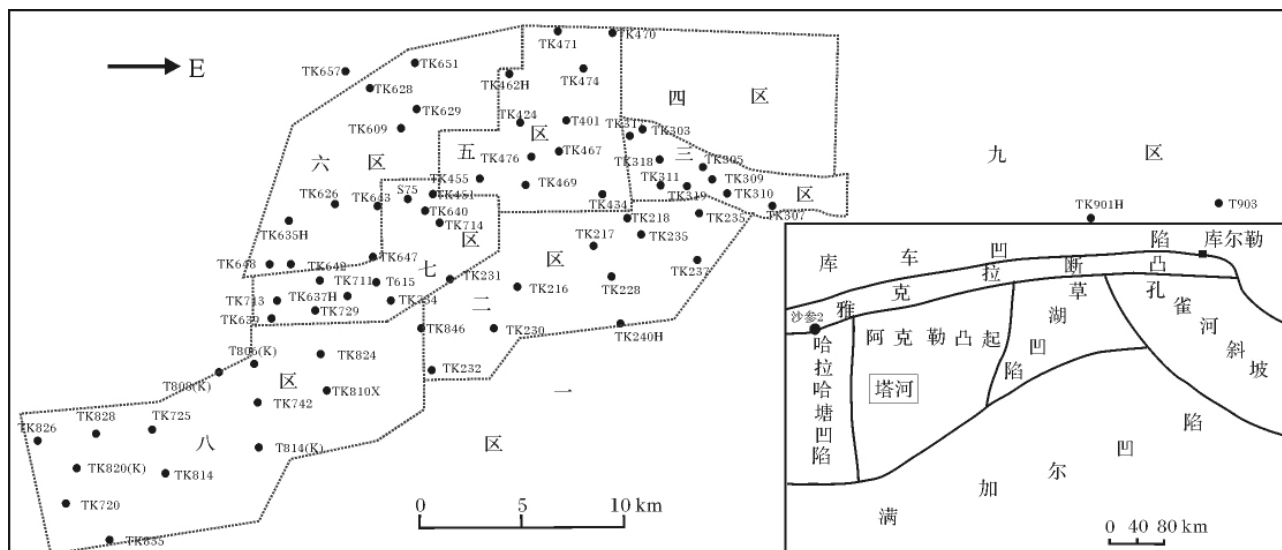


图1 塔河油田区块分布与研究井位分布图

Fig.1 Structural and sampling location of the study area, Tahe oilfield

表1 塔河油田原油正构烷烃和类异戊二烯烷烃分析数据

Table 1 Molecular parameters of *n*-alkanes and isoprenoids in the crude oils and source rocks

区带	井号	产层	深度/m	碳数范围	主峰碳数	OEP	C_{21}^-/C_{22}^+	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
1区	TK120H	TIII		12~35	16	0.98	1.12	0.98	0.75	0.83
2区	TK230	O ₁₋₂ γ	5568.7~5660	12~36	16	0.98	1.10	0.86	0.38	0.46
	TK243	O ₁₋₂ γ	5660~5750	12~35	16	0.97	1.08	0.86	0.36	0.44
	TK237	O ₂ γj	5444~5590	12~35	16	0.97	1.27	0.83	0.45	0.59
3区	TK310	C		12~35	16	0.98	1.85	1.05	0.48	0.50
	TK305	O ₁₋₂ γ	5407~5461	12~35	16	1.06	1.15	0.93	0.68	0.76
	TK311	O ₁₋₂ γ	5397~5600	12~35	16	1.01	1.16	0.89	0.36	0.41
4区	TK469	O ₁₋₂ γ	5413~5560	12~36	17	0.97	0.80	0.78	0.44	0.59
	TK462H	O ₁₋₂ γ	5568~6067	12~37	16	1.03	0.94	0.90	0.41	0.47
	TK401	O ₁₋₂ γ	5367~5580	12~36	15	0.96	0.90	0.87	0.40	0.51
6区	TK643	O ₁₋₂ γ	5661~5700	12~35	16	1.00	0.87	0.82	0.35	0.45
	TK648	O ₁₋₂ γ	5550~5593	12~36	16	0.99	0.73	0.84	0.36	0.47
	TK629	C	5513~5529	12~35	15	0.95	1.35	0.94	0.71	0.87
7区	TK729	O ₁₋₂ γ	5581~5635	12~35	15	0.99	1.12	0.90	0.45	0.52
	T7-615	O ₁₋₂ γ	5521~5637	12~35	20	0.97	0.80	0.82	0.46	0.59
	T810X(K)	O ₁₋₂ γ	5628~5710	12~34	15	0.98	1.38	0.91	0.61	0.69
8区	T814(K)	O ₁₋₂ γ	5574~5670	12~36	17	0.97	0.90	0.86	0.38	0.48
	TK826	O ₂ γj	5751~5788	12~36	15	1.00	0.97	0.84	0.44	0.55
	TK835	O ₂ γj	5760~5840	12~36	17	1.00	0.86	0.85	0.52	0.63
	TK846	O ₂ γj	5518~5657	12~36	16	0.98	1.00	0.93	0.64	0.70
	T806(K)	O ₂ γj		12~36	16	0.91	1.08	0.87	0.56	0.66
9区	TK910H	T		12~36	16	0.96	1.30	0.94	0.33	0.38
	T913	O ₂ γj		12~38	15	1.03	1.09	1.25	0.38	0.34
	T903	O ₂ γj		12~34	15	1.06	1.30	0.98	0.64	0.67

具有相似的有机质来源。前人研究表明早古生代烃源岩 C₂₉ 甾烷的相对含量较高可能与母质类型有关^[20-21]。研究区原油样品具有明显的 C₂₉ 甾烷优势, 一般认为 C₂₉ 甾烷优势是陆相输入的标志, 而早古生

代没有陆相高等植物, 陆地维管植物在泥盆纪才开始大面积繁盛^[23]; 浮游绿藻和宏体褐藻热模拟产物具有 C₂₉ 甾烷优势^[24-25], 因此, 塔河油田原油母质来源可能与浮游绿藻和宏体褐藻有关。4-甲基甾烷一

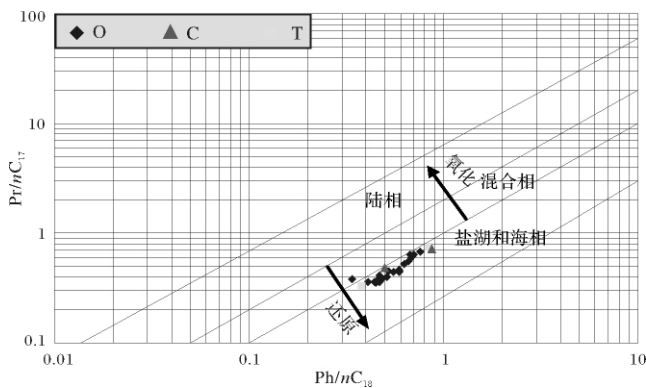


图 2 塔河油田原油 Pr/nC₁₇与 Ph/nC₁₈ 比值相关图

Fig. 2 Correlation chart of Pr/nC₁₇ vs. Ph/nC₁₈ ratios in the oils from Tahe oilfield

原油中含有一定量的甲基甾烷,其 4-甲基甾烷/规则甾烷比值在 0.038 ~ 0.054 之间;原油中检出少量的甲藻甾烷,说明甲藻类和细菌对塔河油田油气的贡献。

原油中的二环萜烷/藿烷比值多在 0.08 ~ 0.45 之间,该参数明显低于鄂尔多斯盆地延长组陆相原油的 0.29 ~ 3.28^[27],与有机质来源于菌藻类的柴达木盆地原油 0.03 ~ 0.22 相当^[28],指示其有机质来源与细菌藻类有关。

三环萜烷和四环萜烷的含量与成油母质类型密切相关^[29,30],并且三环萜烷和四环萜烷具有较强的抗生物降解能力。Hanson 等应用 C₂₅三环萜烷/C₂₄四环萜烷、三环萜烷的(C₁₉ + C₂₀)/C₂₃和 C₂₅/C₂₆及 C₂₄四环萜烷/(C₂₄四环萜烷 + C₂₆三环萜烷) 比值研究原

般来自甲藻类^[26],也存在于细菌之中^[27],塔河油田

表 2 原油和生油岩甾烷参数

Table 2 Molecular parameters of steranes in the crude oils and source rocks

井号	层位	C ₂₇ /%	C ₂₈ /%	C ₂₉ /%	$\frac{\alpha\alpha-C_{29}-20S}{20S + 20R}$	$\frac{C_{29}-\beta\beta}{\beta\beta + \alpha\alpha}$	规则甾烷 藿烷	4-甲基甾烷 规则甾烷	C ₃₀ 4-甲基甾烷 规则甾烷	重排甾烷 规则甾烷
TK230	O _{1-2y}	25.11	19.15	55.74	0.48	0.57	0.30	0.05	0.03	0.20
TK311	O _{1-2y}	26.73	18.78	54.49	0.47	0.58	0.31	0.01	-	0.20
TK469	O _{1-2y}	22.61	18.05	59.34	0.52	0.53	0.36	0.04	0.02	0.21
TK643	O _{1-2y}	24.69	19.25	56.07	0.48	0.57	0.31	0.05	0.03	0.20
T7-615	O _{1-2y}	22.51	18.73	58.76	0.48	0.54	0.31	0.05	0.03	0.20
T814(K)	O _{1-2y}	25.81	18.29	55.89	0.50	0.57	0.35	0.05	0.02	0.22
T913	O _{1-2y}	30.79	20.45	48.76	0.48	0.57	0.82	0.08	0.04	0.40
T806(K)	O _{2yj}	23.89	17.41	58.70	0.52	0.53	0.32	0.05	0.03	0.23
TK629	C	28.30	17.80	53.70	0.50	0.57	0.33	0.10	0.06	0.33
TK310	C	32.10	17.80	50.10	0.49	0.57	0.50	0.05	0.04	0.40
TK120H	T	24.30	16.50	59.20	0.50	0.52	0.34	0.04	0.02	0.32
TK910H	T	27.97	18.16	53.87	0.50	0.58	0.33	0.04	0.02	0.29
塔中 1		20.61	37.60	41.79	0.45	0.47	0.56	0.02	0.01	0.19
塔中 1	O ₁	20.13	31.38	48.49	0.46	0.46	0.46	-	-	0.20
塔中 1	O ₁	21.63	34.40	44.98	0.46	0.47	1.09	0.02	0.01	0.17
塔中 1	O ₁	23.00	31.94	45.06	0.45	0.52	0.36	0.03	0.02	0.19
塔中 1	O ₁	28.06	34.95	36.99	0.45	0.46	0.36	0.03	0.01	0.23
塔中 1	O ₁	22.66	34.93	42.41	0.45	0.46	0.55	0.03	0.02	0.21
塔中 5	O ₁	29.03	43.01	27.96	0.47	0.51	0.24	0.12	0.10	0.44
塔中 1	C	25.19	29.07	45.74	0.38	0.52	0.36	0.06	0.02	0.18
塔中 1	C ₁	23.47	33.63	42.91	0.48	0.52	1.37	0.04	0.02	0.20
塔中 5	C ₁	23.84	24.83	51.32	0.52	0.50	0.12	-	-	0.15
草 1 井	O ₃	22.08	31.39	46.53	0.51	0.46	0.85	0.02	0.01	0.19
LN-32	O ₃	22.53	32.68	44.78	0.47	0.48	1.06	0.02	0.01	0.19
LN-32	O ₃	26.32	29.12	44.56	0.46	0.47	0.28	0.03	0.02	0.18
LN-46	C ₁	30.98	35.68	33.33	0.38	0.44	0.09	0.09	0.08	0.34
LN-45	S ₁	22.56	32.87	44.57	0.48	0.47	1.02	0.03	0.02	0.21
草 1 井	S ₁	31.01	28.69	40.30	0.42	0.40	0.33	0.06	0.03	0.19
LN26	T	25.73	20.87	53.40	0.26	0.43	0.50	0.04	0.02	0.10
K1-07	J ₁ α	30	24	46	0.43	0.47	-	-	-	0.34

油的母质类型^[16,31]。研究表明三环萜烷中 C_{25} 三环/ C_{26} 三环在海相原油中 >1 ,而在陆相原油中该参数则小于1^[16,27]。塔河油田原油 C_{25} 三环/ C_{26} 三环 <1 ,说明其具有海相原油的特征。塔河油田奥陶系原油遭受了一定程度的生物降解,石炭系和三叠系原油的生物降解程度较奥陶系低,而成熟度石炭系和三叠系原油较高。从图3可以看出有奥陶系、三叠系和石炭系 C_{24} 四环萜/(C_{24} 四环萜 + C_{26} 三环萜)指数分布在较窄的范围内,但是奥陶、石炭和三叠系原油该参数呈现升高的趋势,因此,这种现象产生的主要原因可能是受到成熟度升高的影响。与鄂尔多斯盆地山西组和太原组原油相比 C_{23} 三环萜/(C_{23} 三环 + C_{30} 藿烷)参数差别明显,而 C_{24} 四环萜/(C_{24} 四环萜 + C_{26} 三环萜)参数与该地区生油母质为藻类的延长组烃源岩接近说明其烃源岩母质类型为藻类^[27]。由于塔河油田原油存在一定程度的生物降解,而三环萜烷的抗生物降解能力较藿烷强^[32],因此, C_{23} 三环萜/(C_{23} 三环 + C_{30} 藿烷)参数较鄂尔多斯盆地原油高。

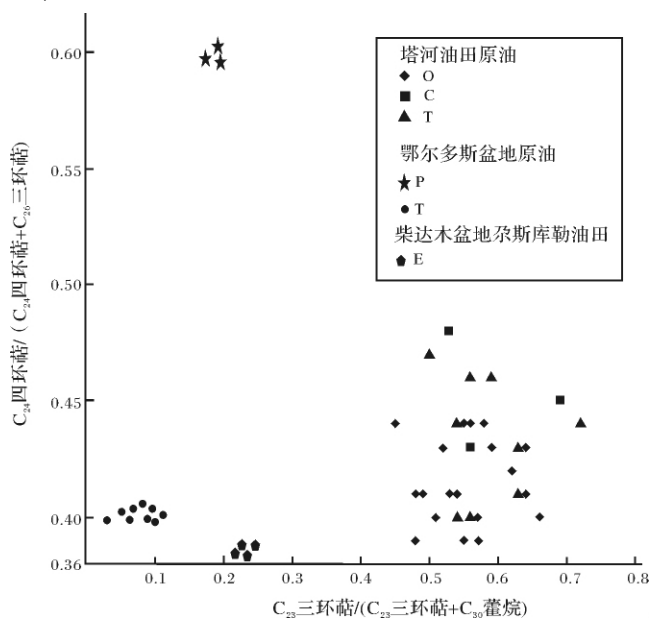


图3 塔河油田原油 C_{24} 四环萜/(C_{24} 四环萜 + C_{26} 三环萜)和 C_{23} 三环萜/(C_{23} 三环萜 + C_{30} 藿烷)比值相关图

Fig. 3 Cross plot of C_{24} tetracyclic terpane / (C_{24} tetracyclic terpane + C_{26} tricyclic terpane) vs. C_{23} tricyclic terpane / (C_{23} tricyclic terpane + C_{30} hopane) ratios in the crude oils and source rocks

五环三萜类化合物在研究样品中较为丰富,原油藿烷中 C_{27} + C_{29} 藿烷的相对含量为 30.11% ~ 34.73%,其藿烷组成低于鄂尔多斯盆地,具有有机质

来源为菌藻类原油的分布特征。原油中烷基环己烷的丰度较低,奥陶系原油烷基环己烷/藿烷的比值在 1.00 ~ 4.62 之间,而石炭系和三叠系原油该参数明显增大,多数样品在 4.8 以上,但低于鄂尔多斯盆地二叠系原油,高于该区的三叠系延长组原油,而二叠系原油的成熟度较三叠系原油的成熟度高^[27],因此,塔河油田石炭系原油该参数较高可能为成熟度影响所致。

伽马蜡烷和升藿烷具有指示沉积环境的作用^[17,18,27-32]。据段毅等人研究柴达木盆地盐湖相成因的原油中伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷比值和 $>C_{30}$ 、 C_{34+35} 藿烷相对含量都很高,分别为 0.27 ~ 1.00 和 26.3% ~ 51.3%、2.8% ~ 17.1%,而鄂尔多斯盆地西峰油田该参数值则较低为 0.04 ~ 0.06、21.3% ~ 27.1% 和 2.5% ~ 3.5%^[27,28],而塔河油田原油伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷比值为 0.10 ~ 0.18, $>C_{30}$ 藿烷含量为 41.16% ~ 47.59%, C_{34+35} 为 7.33% ~ 8.72%,从以上参数可以看出塔河油田原油形成环境介于高盐度盐湖环境和淡水环境之间,为正常盐度的海洋沉积环境。

2.2 原油的成熟度

原油的成熟度是研究油气成因的重要内容。许多生物标志化合物参数用来确定原油的成熟度。塔河油田原油中的 C_{29} 甾烷 20S/(20S + 20R) 和 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 反映原油的成熟度,其比值分别为 0.47 ~ 0.52 和 0.49 ~ 0.58,表明原油为成熟—高成熟原油,由以上参数可知 C_{29} 甾烷 20S/(20S + 20R) 比值接近平衡值^[32]。重排甾烷/规则甾烷、 C_{29} 重排甾烷 20S/(20S + 20R)、 C_{29} 三环萜/(C_{29} 三环萜 + C_{30} 藿烷) 和 C_{31} 藿烷 22S/(22S + 22R) 等参数常用来研究原油的成熟度^[16,27,33,31],本次研究中以上参数很好的反映了原油的成熟度。尽管原油中的重排甾烷/规则甾烷能够较为准确的反映原油的成熟度,但据研究黏土可以提高规则甾烷向重排甾烷转化效率^[36],烃源岩的性质对原油中的重排甾烷/规则甾烷也有影响^[35]。在烃源岩性质相同情况下,该比值可以很好的反映原油的成熟度。塔河油田奥陶系原油重排甾烷/规则甾烷比值为 0.19 ~ 0.25,低于本区生源为寒武—奥陶系烃源岩的三叠系高成熟原油的 0.24 ~ 0.40,高于鄂尔多斯盆地三叠系原油的 0.13 ~ 0.21,属于成熟—高成熟原油。塔河油田原油中 C_{29} 三环萜/(C_{29} 三环萜 + C_{30} 藿烷) 比值为 0.22 ~ 0.26,明显高于鄂尔多斯盆地中生界原油和塔里木盆地陆相

原油^[27,31]。 C_{31} 藿烷 $20S/(20S + 20R)$ 在 0.58 ~ 0.62 之间而 CPI 指数为 1 左右两者均反映了原油为成熟—高成熟度原油的特征。原油中的芳烃甲基菲指数用来研究原油的成熟度^[37], 塔河油田利用 MPI-1 计算的 R_c 值为 0.70% ~ 0.87%, 同样说明原油具有成熟—高成熟度原油的特征。

2.3 油源分析

塔里木盆地存在多套烃源岩包括寒武系、下奥陶统、中上奥陶统、石炭系、志留系、三叠系和侏罗系烃源岩。但是关于塔河油田的奥陶系原油主力烃源岩存在很大的争议, 目前有两种观点: 一种认为塔河原油来自寒武—下奥陶统蒸发潟湖相泥质白云岩与灰岩^[2,11]; 另一种则认为来自中、上奥陶统欠补偿盆地泥灰岩^[10,12]。

由于塔河油田原油的成熟度较高, 大多数油源对比参数不再适用, 而甾烷参数具有适应高成熟度和受生物降解影响小的特点。原油中的甾烷能够反映原油的母源性质, 如前所述塔河油田原油具有 C_{29} 甾烷优势, 而该地区的烃源岩, 只有寒武系和中上奥陶统的部分烃源岩样品的具有 C_{29} 甾烷优势, 呈现 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷成不对称的“V”字型分布, 而其他烃源岩样品则为倒“L”型。从 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷三角图 (图 4) 可知塔河油田原油与中上奥陶统烃源岩具有相似的分布特征, 具有较为接近的亲缘关系。总体上与寒武系和下奥陶统烃源岩的亲缘关系较远。尽管前人根据有机质热模拟研究认为: 随着成熟度的增加 C_{28} 甾烷有升高的趋势, 可能使寒武系烃源岩的部分烃源岩具有 C_{28} 甾烷优势, 规则甾烷具有反“L”型的分布特征, 但是塔河油田原油的 C_{28} 甾烷在不同层位不同区域尽管成熟度不同, 却没有明显表现出随成熟度的升高而升高的趋势, 因此笔者认为塔河油田原油的主力烃源岩为中上奥陶统烃源岩。另据高波等人根据塔河油田天然气同位素研究认为, 晚期充注天然气具有裂解气的特征^[39], 而中上奥陶统烃源岩目前尚处在生油阶段^[12]; 只有寒武系—下奥陶统烃源岩成熟度较高, 存在生成裂解气的可能, 顾忆等对塔河油田的塔河油田的轻烃研究对比认为其与寒武系烃源岩具有更为接近的亲缘关系^[2]。因此, 本文认为寒武系—下奥陶统烃源岩对塔河油田油气的生成也有一定贡献。

塔河油田的运移研究表明, 原油来自草湖坳陷和满加尔坳陷。前人的研究表明塔河油田原油具有多期生油聚集成藏的特征, 主要成藏期有 3 期为海西晚

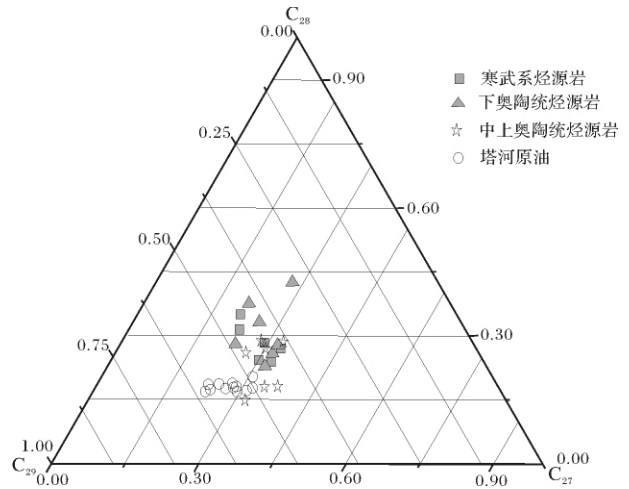


图 4 塔河油田原油与烃源岩甾烷三角图

Fig. 4 Triangular diagram of sterane of crude oils and source rocks

期、燕山—喜马拉雅早期和喜马拉雅晚期^[2,3]。源区的烃源岩在海西早期进入生油阶段, 海西晚期为生油高峰期, 海西期后的喜马拉雅晚期为高一过熟油气生成阶段。综合以上分析, 笔者认为寒武系和奥陶系烃源岩对塔河油田油气生成有重要贡献, 成熟—高成熟原油可能来自中上奥陶统烃源岩, 而过熟油气则更可能来自寒武系—下奥陶统烃源岩。

3 结论

本文通过对塔河油田奥陶系原油和烃源岩的系统采样分析, 研究认为塔河油田各区块奥陶系原油具有相似的地球化学特征, 说明其具有相同的油源。原油的正构烷烃以低碳数的占优势, 在生物降解较为严重的情况下, 则高碳数正构烷烃占优势, 因此原油的母质类型主要为菌藻类, 而在原油样品中以 C_{29} 甾烷占优势, 但在前奥陶纪尚没有高等植物出现, 只有浮游绿藻和宏体褐藻具有 C_{29} 甾烷优势, 因此在塔河油田原油中浮游绿藻和宏体褐藻对油气的生成具有重要贡献。原油中的 Pr/Ph、三环萜、四环萜以及伽马蜡烷参数反映其形成于正常盐度的海相还原环境。原油中的 C_{29} 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 异构体参数接近或达到平衡值, C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 和重排甾烷/规则甾烷适中, 正构烷烃 CPI 值接近 1, 利用甲基菲指数计算的 R_c 值为 0.70% ~ 0.87%, 均说明原油为成熟—高成熟原油。油源分析表明塔河油田原油的主力烃源岩为中上奥陶统烃源岩, 寒武系和下奥陶统烃源岩对塔河油田油气的生成也有一定贡献。塔河

油田奥陶系原油具有多期生烃、多次成藏特征。

参考文献(References)

- 邵志兵. 塔里木盆地塔河油区奥陶系原油中性含氮化合物特征与运移研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 122-127 [Shao Zhibing. Researches on the characteristic of the neutral nitrogen compounds and the oil migration in Ordovician crude oil from oilfield, Tarim basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2005, 27(5): 122-127]
- 顾忆. 塔里木盆地北部塔河油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 308-312 [Gu Yi. Forming mechanism of hydrocarbon pools in Tahe oilfield of the northern Tarim basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(4): 308-312]
- 王敦则, 黎玉战, 俞仁连. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统油藏特征及成藏条件分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 478-479 [Wang Dunze, Li Yuzhan, Yu Renlian. Characteristics and pool-forming conditions of the lower Ordovician reservoirs in Tahe oilfield the Tarim basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2003, 25(2): 478-479]
- 马安来. 塔里木盆地寒武—奥陶系烃源岩的分子地球化学特征[J]. 地球化学, 2006, 35(6): 593-601 [Ma Anlai. Molecular geochemical characteristics of Cambrian-Ordovician source rocks in Tarim Basin, NW China [J]. Geochemica, 2006, 35(6): 593-601]
- 刘存革. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层成因类型与评价[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(1): 93-96 [Liu Cunge. The genetic classification and evaluation of the Lower Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe Oilfield, Xinjiang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(1): 93-96]
- 钱一雄. 塔河油田下奥陶统储层中流体包裹体成份[J]. 地质科学, 2002, 37(增刊): 593-601 [Qian Yixiong. Chemical composition of fluid inclusions from the lower Ordovician reservoirs in the Tahe Oilfield [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(suppl.): 593-601]
- 陈强路, 黄继文. 塔河油田油气输导体系与运聚模式[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(2): 143-146 [Chen Qianglu, Huang Jiwen. Hydrocarbon conduit systems and migration model in Tahe Oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(2): 143-146]
- 王传刚, 王铁冠, 何发琦, 等. 塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(2): 155-157 [Wang Changang, Wang Tieguan, He Faqi, et al. Stable carbon isotope and its significance in hydrocarbon accumulation in Tahe oilfield, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(2): 155-157]
- 康玉柱. 海相成油理论与塔河大油田的发现[J]. 地质力学学报, 2002, 8(3): 201-206 [Kang Yuzhu. New theory of marine oil formation and discovery of oilfield in the northern Tarim Basin [J]. 2002, 8(3): 201-206]
- 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 轮南、塔河油田稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 31-38 [Ma Anlai, Zhang Shuichang, Zhang Dajiang, et al. Oil and source correlation in Lunan and Tahe heavy oil fields [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 31-38]
- 周玉琦, 黎玉战, 侯宏斌. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践和认识[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 363-367 [Zhou Yuqi, Li Yuzhan, Hou Hongbin. Exploration practice and recognition about Tahe oilfield of Tarim Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2001, 23(4): 363-367]
- 张水昌, 梁狄刚, 黎茂稳, 等. 分子化石与塔里木盆地油源对比[J]. 科学通报, 2002, 47(增刊): 16-23 [Zhang Shuichang, Liang Digang, Li Maowen, et al. The correlation between molecular fossil and oil source in Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(Suppl.): 19-23]
- 南青云, 刘文汇, 腾格尔, 等. 塔河油田原油甾萜烷系列化合物地球化学再认识[J]. 沉积学报, 2006, 24(2): 294-299 [Nan Qingyun, Liu Wenhui, Tengge, et al. Geochemical characters recognition for steranes and hopanes from oils of Tahe oilfield [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(2): 294-299]
- Connan J, Cassou A M. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, 44: 1-23
- Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(12): 1927-1942
- Hanson A D, Zhang S C, Moldowan J M, et al. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin, Northwest China [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84: 1109-1128
- Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69: 1255-1268.
- Philp R P, Fan P, Lewis C A, et al. Geochemical characteristics of oils from Qaidam, Shanganning and Jiangnan basins, China [J]. Journal of Southeast Asian Earth Science, 1991, 5: 351-358
- Duan Y, Ma L H. Lipid geochemistry in a sediment core from Ruergai Marsh deposit (Eastern Qinghai-Tibet Plateau, China) [J]. Organic Geochemistry, 2001, 32: 1429-1442
- Grantham P J, Wakefield L L. Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rocks derived crude oils through geological time [J]. Organic Geochemistry, 1988, 12: 61-73
- Berkaloff C, Casadevalle, Largeau C, et al. The resistant polymer of the cell walls of the hydrocarbon-rich algae Botryococcus braunii [J]. Photochemistry, 1983, 22: 389-397
- Derenne S, Largeau C, Berkaloff C, et al. Nonhydrolysable macromolecular constituents from outer walls of Chlorella fusca and Nanochlorum eucaryotum [J]. Photochemistry, 1992, 31: 1923-1929
- Gray J, Boucot A J. The advent of land plant life [J]. Geology, 1978, 6: 489-492
- Moldowan J M, Talyzinan M. Biogeochemistry evidence for dinoflagellate ancestors in the Early Cambrian [J]. Science, 1998, 281: 1168-1170
- 孟凡巍, 周传明, 燕夔, 等. 通过 C₂₇/C₂₉ 甾萜烷和有机碳同位素来判断早古生代和前寒武纪的烃源岩的生物来源[J]. 微生物古生物学报, 2006, 23(1): 51-56 [Meng Fanwei, Zhou Chuanming, Yan Kui, et al. Biological origin of early Palaeozoic and pre-Cambrian hydrocarbon source rocks based on C₂₇/C₂₉ sterane ratio and origin car-

- bon isotope [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2006, 23(1): 51-56]
- 26 Robinson N, Eglinton G, Brassell S C, *et al.* Dinoflagellate origin for sedimentary 4 α -methylsteroids and 5 α (H) stanols [J]. *Nature*, 1984, 308: 439-441
- 27 段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[J]. *地质学报*, 2006, 80(2): 301-310 [Duan Yi, Wu Baoxiang, Zhang Hui, *et al.* Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng oilfield in the Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(2): 301-310]
- 28 段毅, 王智平, 张辉, 等. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征[J]. *石油实验地质*, 2004, 26(4): 359-364 [Duan Yi, WANG Zhiping, Zhang Hui, *et al.* Geochemical characteristics of hydrocarbons in crude oils from the Qaidam Basin [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2004, 26(4): 359-364]
- 29 Seifert W K, Moldowan J M. Application of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42: 77-95
- 30 Aquino Neto F R, Trendel J M, Restle A, *et al.* Occurrence and formation of tricyclic and tetracyclic terpanes in sediments and petroleum [M] // Bjorøy M, *et al.*, ed. *Advances in Organic Geochemistry*. John Wiley, Chichester, 1981: 659-667
- 31 Zhang S C, Hanson A D, Moldowan J M, *et al.* Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 273-286
- 32 彼得斯 莫尔多万, 著. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 168-171 [Peters K E, Moldowan J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 168-171]
- 33 Li M W, Yao H X, Fowler M G, *et al.* Geochemical constraints on models for secondary petroleum migration along the upper Devonian Rimbey-Meadowbrook reef trend in central Alberta, Canada [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29: 163-182
- 34 Robinson N, Eglinton G, Brassell S C, *et al.* Dinoflagellate origin for sedimentary 4 α -methylsteroids and 5 α (H) stanols [J]. *Nature*, 1984, 308: 439-441
- 35 Peters K E, Moldowan J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments* [M]. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1993: 363
- 36 Rubinstein I, Sieskind O, Albrecht P. Rearranged steranes in a shale: occurrence and simulated formation [J]. *Journal of Chemical Society Perkin*, 1975: 1833-1835
- 37 Radke M, Willsch H, Leythaeuser D. Aromatic components of coal: relation of distribution pattern to rank [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1982, 46: 1831-1848
- 38 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题 [J]. *地质前沿*, 2000, 7(4): 534-547 [Liang Digang, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, *et al.* Understanding on marine oil generation in China based on Tarim basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 534-547]
- 39 高波, 范明, 刘文汇, 等. 塔河油田天然气的碳同位素特征及其成因类型 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 618-622 [Gao Bo, Fan Ming, Liu Wenhui, *et al.* Carbon isotope features and genetic type of natural gas in Tahe oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(5): 618-622]

Characteristics of Molecular Geochemistry and Genesis of Crude Oils from Tahe Oilfield of Tarim Basin

ZHENG Chao-yang¹ DUAN Yi² ZHANG Xue-jun³ LI Hong¹

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, The Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000;

3. The Second Team of Geology, Bureau of Geology of Henan Province, Jiaozuo, Henan 454000)

Abstract Tahe oilfield locates in the southwest part of Akekule uplift of Shaya uplift in Tarim basin. So far Tahe Oilfield is the largest marine limestone oilfield of China. In spite of abundant geological and geochemical research efforts are carried in the oilfield but some kinds of doubtful points are not resolved for example the main source rocks, parent material and hydrocarbon accumulation period. Oil samples come from new developed oil-wells of Tahe oilfield. According to the systems analysis and high precision GC-MS analysis, this paper studied the distributional characteristics biomarkers, oil and source rock correlation, and genetic type of oils. The geochemical characteristics of saturated hydrocarbon we can know that the oils from Tahe oilfield have higher maturity, kerogen type is homonemeae, the oils form from marine reducing environment, and the oils suffer some kind of biodegradation. The predominance of C₂₉ sterane is related to pelagic green algae and macro body brown algae. The detection of Dinoflagellate sterane and 4-methyl sterane show the contribution of dinoflagellate and bacteria. Tricyclic terpane and tetracyclic terpane parame-

ters show that they are marine crude oils. The maturity of oils from Triassic and Carboniferous are higher than Ordovician crude oils. The distributional characteristics of pentacyclic triterpane indicate the contribution of homonemeae. Gammacerane / $\alpha\beta$ -C₃₀-hopane and the content of >C₃₀-hopane show that the oils originated from salinity marine environment. C₂₉-sterane 20S/(20S+20R) and $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ are 0.47-0.52 and 0.49-0.58 indicate that the oils are mature crude oils. The main source rocks of Tahe oilfield is a controversial problem. According to the relative content of C₂₇, C₂₈ and C₂₉-sterane This paper discussed the source rock of Tahe oilfield. The results show that middle and upper ordovician source rocks are chief source rocks, and also lower Ordovician and Cambrian source rocks have some kinds of contribution to high-maturity oil. The oil reservoirs have characteristics of hydrocarbon accumulation multi-period. Above the study result will offer scientific reference for the exploration and develop of this kind of oil-field.

Key words Tahe oilfield; Shaya uplift; biomarkers; maturity; oil and source rock correlation

欢迎订阅《沉积学报》

《沉积学报》是中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会、中国地质学会沉积地质专业委员会、中国科学院兰州地质研究所共同主办的综合性学术刊物,是全国自然科学核心期刊。主要刊载沉积学、沉积矿产、地球化学以及相关分支学科、交叉学科的基础和应用基础研究的创新性研究成果和水平论文,介绍沉积学研究的新技术、新理论及国内外最新沉积学论著,同时也报导有关学术活动、学科研究动态及学术思想的讨论和争鸣。优先发表国家、省、部级重大科技项目及基金资助的在沉积学、地球化学前沿各分支领域以及学科交叉点上有创造性的研究成果。读者对象为大专院校地学专业的师生及科研院所的地学工作者。

2006年起《沉积学报》改为双月刊,16开本,每期144页,逢双月10日出版,定价30元,全年定价180元。国内外公开发行,欢迎广大读者到当地邮局订阅。

国内邮发代号:54-45

国外发行代号:Q832

同时欢迎各位专家学者踊跃投稿。

网址: www.cjxb.ac.cn

地址:兰州市东岗西路382号 中国科学院兰州地质研究所《沉积学报》编辑部

邮政编码:730000

联系电话:(0931)4960916 4960917 传真:(0931)8278667

Email: cjxb@ns.lzb.ac.cn