

文章编号: 1000-0550(2009)01-0164-08

塔里木盆地塔河油田原油与源岩对比研究¹

段毅 于文修 郑朝阳 王传远 吴保祥 孙涛

(中国科学院地质与地球物理研究所油气资源研究中心 兰州 730000)

摘要 塔河油田是我国迄今为止在古生界海相碳酸盐岩层系中发现的最大的油气田,但是原油的油源目前仍然是一个有争异的问题。对塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩进行了地球化学分析,研究了生物标志化合物组成和分布特征,进行了油源对比。原油和烃源岩中正构烷烃、类异戊二烯烃、甾烷和萜烷组成及分布特征,显示了塔河油田原油与寒武系、奥陶系烃源岩具有亲缘关系,这与塔河油田长期成藏和多期成藏,从而允许寒武系、奥陶系烃源岩持续供油的地质事实相符合。研究认为,塔河油田原油与寒武系、奥陶系烃源岩中一些生物标志化合物组成的差异,可能与它们起源于有机质不同演化阶段有关,这一点应在研究具有高演化有机质特征的油源对比时予以重视。

关键词 塔河油田 原油和烃源岩 生物标志化合物 油源对比

第一作者简介 段毅 男 1956年出生 博士生导师 研究员 油气地球化学 E-mail duany@lzb.ac.cn

中图分类号 P593 TE122.1+14 **文献标识码** A

塔河油田是我国迄今为止在古生界海相碳酸盐岩层系中发现的最大的油气田。它位于新疆维吾尔自治区轮台县和库车县境内,构造上位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起南部。塔河油田的油气成藏位于奥陶、石炭和三叠纪地层之中,分别发现于1990、1991和1996年,至今已成为储量超过亿吨级的油田^[1]。它的发现充分展示了在塔里木盆地寻找特大型油气藏的广阔前景;同时,它的成因机制研究有助于该类油气藏的勘探和开发。历经长期研究,对塔河油田的构造、沉积、碳酸盐岩层系油气生成演化、碳酸盐岩储层及圈闭特征、碳酸盐岩层系油气藏成藏机制等研究已经取得了丰硕的成果^[1-4]。认为油田的油源充足;孔、洞、缝是良好的储集体;盖层和圈闭良好;断裂与储集层是油气运移通道;后期改造破坏较小,保存条件良好^[5]。但是,原油的油源目前仍然是一个有争异的问题,一种观点认为塔河油田原油来自寒武系一下奥陶统烃源岩^[1,2],另一种观点认为塔河油田原油来源中,上奥陶统烃源岩^[6,7]。本文采集了塔河油田近几年开采的油井原油以及烃源岩样品,对塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩进行了地球化学分析;为了对比研究,还分析了塔里木盆地石炭系和侏罗系烃源岩及轮南地区侏罗系原油、英买力地区第三系原油样品。研究了这些样品中生物标志化合物组成和分布特征,进行了油源对比,探讨了塔河油田原油的油源问题。

1 样品与分析

原油样品均为2005年9月份采集,来自塔里木盆地塔河油田。原油样品都是来自近几年开采的油井,并且以前均未进行过原油地球化学分析;样品采集时,对油水进行了分离;运回实验室在低温下保存。烃源岩均为岩芯样品,烃源岩粉碎至100目,用二甲甲烷—甲醇(2:1)溶剂进行索氏抽提。取原油和烃源岩抽提物经沉淀沥青质后,用氧化铝—硅胶柱色谱进行分离。饱和烃和芳烃馏分分别用正己烷和苯冲洗,非烃馏分用乙醇冲洗。然后,饱和烃馏分用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He,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 正构烷烃和类异戊二烯烃

原油和烃源岩中正构烷烃可以用来判识母质类型与成熟度^[8]。因此,可以应用正构烷烃的分布特征进行油源对比。塔河油田原油中正构烷烃主峰碳分布很相似,在C₁₅~C₂₀内(表1)。但是正构烷烃

¹ 国家重点基础研究发展规划项目(批准号:2005CB422105)和国家自然科学基金项目(批准号:40772069)资助。
收稿日期:2008-01-22 收修改稿日期:2008-06-27

C_{21-} / C_{22+} 比值,在塔河油田奥陶系 4 区—8 区原油中低,分布在 0.80~1.08 之间;2 区—3 区和 9 区原油较高,为 1.08~1.16。三叠系和石炭系原油高,为 1.11~2.01。 C_{21-} / C_{22+} 比值这种分布特征与塔河油田原油充注的先后顺序和原油的成熟度相一致^[2,9,10],说明所研究的塔河油田原油 C_{21-} / C_{22+} 比值差异是由成熟度所引起,其母质类型应该是一致的,均来自菌藻类。寒武系和奥陶系烃源岩中正构烷烃主峰碳为 C_{16} 、 C_{17} 和 C_{20} , 并且它们的 C_{21-} / C_{22+} 比值没有显著差别,分布在 0.65~1.36 之间,这些与塔河油田原油的相类似。

原油中 Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 比值,通常用来研究母质类型、形成环境和成熟度^[11-13]。塔河油田大部分原油的 Pr/Ph 和 Pr/nC_{17} 比值分布在一个较窄的范围内,只是 1 区 TK120H 井三叠系原油和 9 区 T913 井奥陶系原油这两个比值与其他原油存在差别(图 1),这是因为这两个样品成熟度相对高^[9],使 Pr 含量较高所致,说明这些原油来自一个类似的生物源^[14],其大小指示了原油母质为腐泥型(图 2)。图 2 也展示了塔河油田原油分布在还原环境区域内,与 LN5 和 Y9 井陆相原油明显不同^[15],说明塔河油田原油形成于还原环境。寒武系和奥陶系烃源岩中 Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 比值与塔河油田原油的类似,在图 1 和图 2 中,分布在相同的区域内,与侏罗系陆相烃源岩明显不同,在图 3 中与石炭系烃源岩也明显不同。

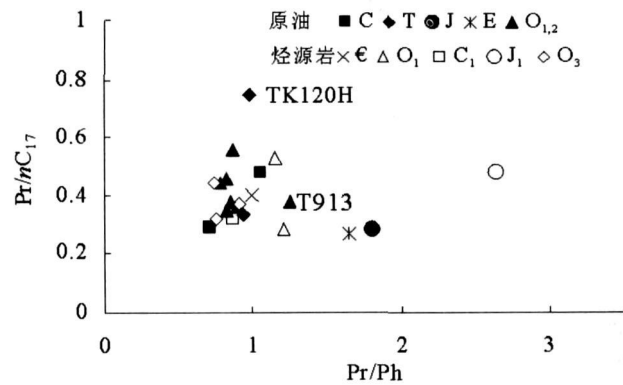


图 1 原油和烃源岩中 Pr/nC_{17} 与 Pr/Ph 比值相关图
Fig. 1 Cross plots of Pr/nC_{17} vs Pr/Ph ratios in the crude oils and source rocks

2.2 甾烷

原油中存在甾烷,其中规则甾烷的组成可以反映原油母源性质^[16-18]。塔河油田原油 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 甾烷的相对含量分别为 22.5%~30.8%、16.5%~

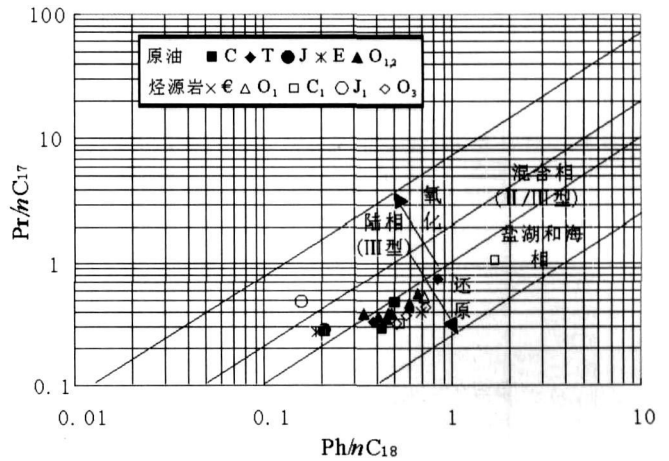


图 2 原油和烃源岩中 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 比值相关图
Fig. 2 Cross plot of Pr/nC_{17} vs. Ph/nC_{18} ratios in the crude oils and source rocks

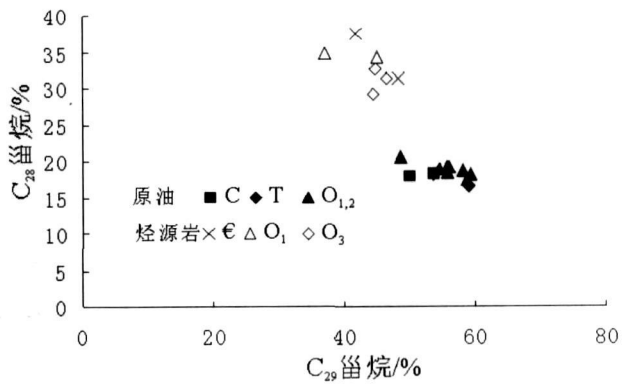


图 3 原油和烃源岩中甾烷 C_{28} 与 C_{29} 相对含量相关图
Fig. 3 Cross plots of C_{28} vs. C_{29} sterane contents in the crude oils and source rocks

20.5% 和 48.8%~59.2% (表 2); 规则甾烷/藿烷比值除了具有较高成熟度的 T913 井和 Tk310 井分别为 0.82 及 0.50 外,其他塔河油田原油在 0.31~0.36 之间,分布范围较窄,说明它们具有类似的成油母质。塔河油田原油甾烷分布特征是含有较高的 C_{29} 甾烷。已有的研究表明,柴达木盆地北部地区原油甾烷以 C_{29} 规则甾烷为主,为 40.7%~50.6%^[18,19]; 西峰油田原油 C_{29} 甾烷的相对含量很高,为 44.7%~50.0%^[20],这两个地区的原油都形成于淡水湖泊环境,以高等植物为重要母质。虽然塔河油田原油的母质为菌藻类,但是它们的 C_{29} 甾烷相对含量还要比这两个地区的原油高。这是因为对于海洋沉积环境来说, C_{29} 甾烷可以来自一些浮游植物,例如一些硅藻,蓝藻和金藻等都是它们的主要来源者^[21]。塔河油田原油中含有 4 甲基甾烷, 4 甲基甾烷/规则甾烷比值

表 1 原油和生油岩中正构烷烃和异构烷烃参数

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

样号	油田	井号	层位	深度 /m	碳数范围	主峰碳	nC_{21-} / nC_{22+}	OEP	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
原油											
油 5	轮南	LN-5	J	4563~ 4570	C ₁₁ ~ C ₃₂	C ₁₃	2.68	1.06	1.81	0.28	0.21
油 16	英买力	Y9	E	4700~ 4701	C ₁₁ ~ C ₃₂	C ₁₃	2.49	1.03	1.65	0.27	0.19
TO-2	塔河	TK120H	T ₂	4612~ 5082	C ₁₂ ~ C ₃₆	C ₁₆	1.11	0.98	0.98	0.75	0.83
TO-66		TK910H	T ₂	4858~ 5166	C ₁₂ ~ C ₃₆	C ₁₆	1.45	0.96	0.94	0.33	0.38
TO-42		TK629	C	5165~ 5170	C ₁₂ ~ C ₃₈	C ₁₅	1.65	0.99	0.71	0.29	0.42
TO-19		TK310	C	5017~ 5019	C ₁₂ ~ C ₃₈	C ₁₅	2.01	0.98	1.05	0.48	0.5
TO-7		TK230	O _{1-2Y}	5569~ 5660	C ₁₂ ~ C ₃₅	C ₁₆	1.10	1.01	0.86	0.38	0.46
TO-22		TK311	O _{1-2Y}	5397~ 5600	C ₁₂ ~ C ₃₅	C ₁₅	1.16	1.01	0.89	0.36	0.41
TO-29		TK469	O _{1-2Y}	5413~ 5560	C ₁₂ ~ C ₃₆	C ₂₀	0.80	0.97	0.78	0.44	0.59
TO-37		TK643	O _{1-2Y}	5661~ 5700	C ₁₂ ~ C ₃₅	C ₁₆	0.87	1.00	0.82	0.35	0.45
TO-54		T7- 615	O _{1-2Y}	5521~ 5637	C ₁₂ ~ C ₃₈	C ₂₀	0.80	0.97	0.82	0.46	0.59
TO-57		T814(K)	O _{1-2Y}	5574~ 5670	C ₁₂ ~ C ₃₅	C ₁₇	0.90	0.97	0.86	0.38	0.48
TO-69		T913	O _{1-2Y}	5970~ 6000	C ₁₂ ~ C ₃₈	C ₁₅	1.09	1.03	1.25	0.38	0.34
TO-73		T806(K)	O _{2Yj}	5506~ 5587	C ₁₂ ~ C ₃₅	C ₁₅	1.08	0.91	0.87	0.56	0.66
烃源岩											
001	塔中	塔中 1 井	Є	5861~ 5866	C ₁₂ ~ C ₃₄	C ₁₇	1.29	1.11	1.00	0.40	0.68
002		塔中 1 井	Є	5414~ 5417	C ₁₁ ~ C ₃₅	C ₁₉	0.65	1.06	-	-	-
003		塔中 1 井	O ₁	4974~ 4977	C ₁₂ ~ C ₃₄	C ₁₉	1.31	1.15	1.15	0.53	0.71
005		塔中 1 井	O ₁	4552~ 4554	C ₁₁ ~ C ₃₅	C _{17i}	1.34	1.02	1.21	0.28	0.21
012		塔中 5 井	C ₁	3278	C ₁₂ ~ C ₃₃	C ₁₇	1.48	1.07	0.87	0.32	0.53
026	草湖	草 1 井	O ₃	5950~ 5960	C ₁₁ ~ C ₃₄	C ₁₆	0.98	0.98	0.74	0.44	0.73
021	轮南	LN-32	O ₃	5448~ 5458	C ₁₂ ~ C ₃₃	C ₁₇	1.36	0.67	0.76	0.32	0.51
022		LN-32	O ₃	5489~ 5497	C ₁₁ ~ C ₃₅	C ₁₇	1.14	1.14	0.91	0.37	0.57
017		LN-16	C ₁	5374	C ₁₃ ~ C ₃₅	C ₁₇	0.95	1.14	1.57	1.07	1.68
K1-07	库车	依南 4 井	J _{1a}	3996	C ₁₄ ~ C ₃₁	C ₁₈	1.45	-	2.65	0.48	0.16

注: OEP = (C₂₅ + 6C₂₇ + C₂₉) / 4(C₂₆ + C₂₈); 库车 1 个样品资料由张中宁提供

分布在 0.01~ 0.10 之间。4 甲基甾烷一般来自甲藻类^[22], 但是也存在细菌之中^[17]。来自下古生界 4 甲基甾烷一般归于疑源类。原油中 4 甲基甾烷的存在, 说明这类有机质对原油的形成也作出了一定的贡献。寒武系和奥陶系烃源岩中甾烷的分布为 C₂₇ 甾烷在 20.1% ~ 28.1% 之间, C₂₈ 甾烷为 29.1% ~ 37.6%, C₂₉ 甾烷为 37.0% ~ 48.5%。与塔河油田原油相比较, 甾烷分布的明显特征是寒武系和奥陶系烃源岩中富 C₂₈ 甾烷, 贫 C₂₉ 甾烷(图 3)。这种现象的可能解释是塔河油田原油主要为烃源岩有机质早期演化的产物, 而烃源岩中残留的可溶有机质主要为烃源岩有机质后期演化的产物。一个例证是对南宁盆地褐煤模拟实验表明, 随着模拟温度的升高, C₂₈ 甾烷相对含量具有增加趋势, C₂₉ 甾烷相对含量具有减少趋势^[23]。寒武系和奥陶系烃源岩中 4 甲基甾烷/规则甾烷比值分布在 0.02~ 0.03 之间, 分布在塔河油田原油范围内。

原油中重排甾烷的相对含量随成熟度增加, 是一个很好的成熟度指标, 虽然人们已经注意到了粘土含量较低的碳酸盐岩和蒸发盐岩含低的重排甾烷^[24-25]。塔河油田原油中重排甾烷/规则甾烷比值

在三叠系和石炭系原油中高, 为 0.29~ 0.40 在奥陶系原油中, 除了 9 区 T913 井原油外, 其他都较低, 为 0.20~ 0.23 反映了塔河油田原油成熟度总的分布特征是, 三叠系和石炭系原油的成熟度要高于奥陶系原油; 9 区奥陶系原油的成熟度高于其它油区奥陶系原油^[3,9,10]。虽然寒武系和下奥陶统有机质成熟度已经达到了高成熟—过成熟^[25], 但是所研究的寒武系和奥陶系烃源岩中该比值略低于塔河油田原油, 为 0.17~ 0.20 这种分布趋势与 C₂₉ 甾烷 20S / (20S + 20R) 和 ββ / (αα + ββ) 比值的相一致(图 4)。可能的解释是在高成熟阶段被强极性有机质吸附的低成熟有机分子被释放出来, 可以使有机质成熟度变低^[26,27]。

2.3 萜烷

塔河油田原油中含有丰富的二环倍半萜烷, 从表 3 中可以看出, 二环萜烷/藿烷比值似乎与母源性质和成熟度相关, 例如 Y9 井第三系原油来自陆源^[15], 该比值较高, 为 2.04 塔河油田具有较高成熟度的三叠系和石炭系原油以及 9 区 T913 井奥陶系原油中二环萜烷/藿烷比值较高, 分别为 0.28~ 3.49 和 4.47, 其他奥陶系原油中该比值较低, 为 0.08~ 0.26, 与柴达木盆地西部以菌藻为主的成油母质的低成熟原油

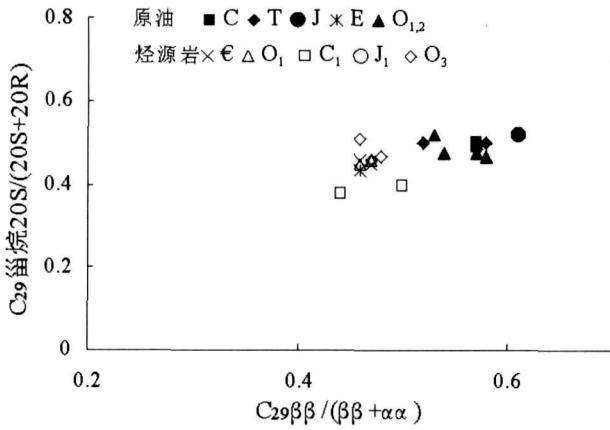


图 4 原油和烃源岩中甾烷 $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ 与 $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值相关图

Fig 4 Cross plot of regular sterane $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ vs $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ ratios in the crude oils and source rocks

(0.03~0.22) 相似^[19]。除了 003 样品外, 寒武系和奥陶系烃源岩中二环萜烷/藿烷比值分布在 0.16~0.68 之间, 与塔河油田正常成熟度原油中的相似。原油中三环萜烷和四环萜烷的含量与母源性质及成熟度密切相关^[13, 25, 28, 29]。塔河油田原油中 C_{24} 四环萜烷 / (C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷) 比值分布在 0.39

表 2 原油和生油岩中甾烷参数

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

样号	油田	井号	层位	C_{27} %	C_{28} %	C_{29} %	$\frac{\alpha\alpha\alpha-C_{27}}{\alpha\alpha\alpha-C_{29}}$	$\frac{\alpha\alpha\alpha-C_{28}}{\alpha\alpha\alpha-C_{29}}$	$\frac{\alpha\alpha\alpha-C_{29} 20S}{20S + 20R}$	$\frac{C_{29} - \beta\beta}{\beta\beta + \alpha\alpha}$	规则甾烷 藿烷	4甲基甾烷 规则甾烷	C_{30} 甲基甾烷 规则甾烷	重排甾烷 规则甾烷	孕甾烷 规则甾烷
原油															
油 5	轮南	LN-5	J	35.6	20.7	43.66	0.82	0.47	0.52	0.61	0.52	0.05	0.02	0.33	0.70
油 16	英买力	Y9	E	19.2	27.5	53.3	0.36	0.51	0.43	0.46	0.45	-	-	0.16	-
TO-2	塔河	TK 120H	T	24.3	16.5	59.2	0.41	0.28	0.50	0.52	0.34	0.04	0.02	0.32	0.28
TO-66		TK 910H	T	28.0	18.2	53.8	0.52	0.34	0.50	0.58	0.33	0.04	0.02	0.29	0.24
TO-42		TK 629	C	28.3	18.0	53.7	0.53	0.33	0.50	0.57	0.33	0.10	0.06	0.33	0.34
TO-19		TK 310	C	32.1	17.8	50.1	0.64	0.36	0.49	0.57	0.50	0.05	0.04	0.40	0.34
TO-7		TK 230	O_{1-2}^y	25.1	19.2	55.7	0.45	0.34	0.48	0.57	0.30	0.05	0.03	0.20	0.22
TO-22		TK 311	O_{1-2}^y	26.7	18.8	54.5	0.49	0.34	0.47	0.58	0.31	0.01	-	0.20	0.02
TO-29		TK 469	O_{1-2}^y	22.6	18.1	59.34	0.38	0.30	0.52	0.53	0.36	0.04	0.02	0.21	0.22
TO-37		TK 643	O_{1-2}^y	24.7	19.3	56.0	0.44	0.34	0.48	0.57	0.31	0.05	0.03	0.20	0.18
TO-54		T7- 615	O_{1-2}^y	22.5	18.7	58.3	0.38	0.32	0.48	0.54	0.31	0.05	0.03	0.20	0.25
TO-57		T814(K)	O_{1-2}^y	25.8	18.3	55.9	0.46	0.33	0.50	0.57	0.35	0.05	0.02	0.22	0.23
TO-69		T913	O_{1-2}^y	30.8	20.5	48.7	0.63	0.42	0.48	0.57	0.82	0.08	0.04	0.40	0.32
TO-73		T806(K)	O_{1-2}^y	23.9	17.4	58.7	0.41	0.30	0.52	0.53	0.32	0.05	0.03	0.23	0.24
烃源岩															
001	塔中	塔中 1 井	E	20.6	37.6	41.8	0.49	0.90	0.45	0.47	0.56	0.02	0.01	0.19	0.24
002		塔中 1 井	E	20.1	31.4	48.5	0.42	0.65	0.46	0.46	0.46	-	-	0.20	-
003		塔中 1 井	O_1	21.6	34.4	45.0	0.49	0.78	0.46	0.47	1.09	0.02	0.01	0.17	0.15
005		塔中 1 井	O_1	28.1	35.0	36.9	0.76	0.94	0.45	0.46	0.36	0.03	0.01	0.20	0.36
012		塔中 5 井	C_1	23.8	24.8	51.4	0.46	0.48	0.40	0.50	0.12	-	-	0.15	-
026	草湖	草 1 井	O_3	22.1	31.4	46.5	0.47	0.67	0.51	0.46	0.85	0.02	0.01	0.19	0.12
021	轮南	LN-32	O_3	22.5	32.7	44.8	0.50	0.73	0.47	0.48	1.06	0.02	0.01	0.19	0.10
022		LN-32	O_3	26.3	29.1	44.6	0.59	0.65	0.46	0.47	0.28	0.03	0.02	0.18	0.20
017		LN-16	C_1	31.0	35.7	33.3	0.93	1.07	0.38	0.44	0.09	0.09	0.08	0.34	0.13
K1407	库车	K 407	J_1^a	30.0	24.0	46.0	-	-	0.43	0.47	-	-	-	0.34	-

~ 0.48 之间, 类似于寒武系和奥陶系烃源岩 (0.29~0.42); 虽然 C_{23} 三环萜烷 / (C_{23} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷) 比值在塔河油田原油中略高于寒武系和奥陶系烃源岩, 但是除了成熟度较高的 T913 井原油外, 它们都分布在一个较窄的范围内 (图 5)。

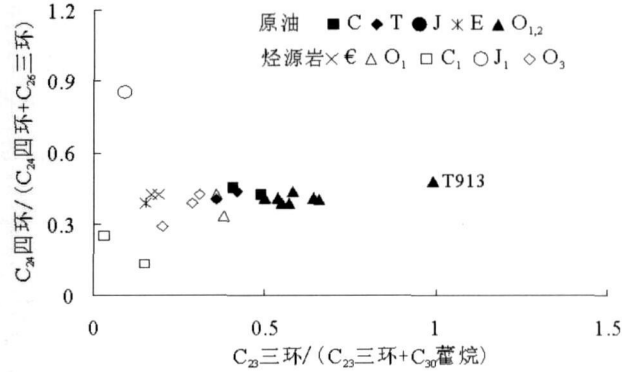


图 5 原油和烃源岩中 C_{24} 四环萜烷 / (C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷) 与 C_{23} 三环萜烷 / (C_{23} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷) 比值相关图

Fig 5 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

藿烷分布在塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩中存在着差别。在塔河油田原油中, $C_{27} + C_{29}$ 、 C_{30} 和 C_{30+} 分别为 30.9% ~ 34.7%、20.9% ~ 24.9% 和 41.3% ~ 47.6% (表 3); 在寒武系和奥陶系烃源岩中, 它们分别为 24.0% ~ 37.6%、34.4% ~ 46.6% 和 18.7% ~ 37.4%。相比之下, 塔河油田原油中贫 C_{30} 藿烷, 富 C_{30+} 藿烷; 寒武系和奥陶系烃源岩中富 C_{30} 藿烷, 贫 C_{30+} 藿烷; 从低、中、高碳数分布来说, 类似于甾烷的分布特征, 可能反映了有机质不同演化阶段的产物。

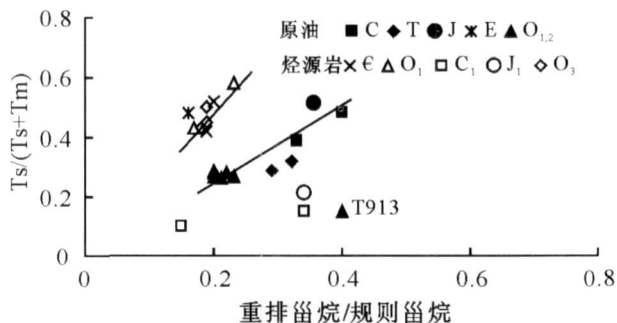


图 6 原油和烃源岩中 $T_s/(T_s + T_m)$ 与重排甾烷 / 规则甾烷比值相关图

Fig 6 Cross plots of $T_s/(T_s + T_m)$ vs. diasterane ratios in the crude oils and source rocks

像重排甾烷一样, $T_s/(T_s + T_m)$ 比值不仅与成熟度有关, 而且与沉积环境有关, 因此可以应用 $T_s/(T_s + T_m)$ 比值与重排甾烷 / 规则甾烷比值相关图, 了解研究样品的成熟度和形成环境。在图 6 中, 塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩样品沿着两条不同的方向变化, 各自的变化趋势反映了样品的成熟度, 原油和烃源岩样品之间的差别可能与它们形成的期次或运移有关。Y9 井原油在图中的高值位置, 这与它来自泥质生油岩相一致。在这次研究中, 三环萜烷相对五环萜烷的含量, 也反映了成熟度和生源的特征, 如图 7 和图 8 所示, 随着该比值的增大, 塔河油田原油的成熟度增加, 并且塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩样品分布在一定的范围内。

2.4 油源分析

塔河油田原油的油源目前仍然是一个有争议的问题。一种观点认为塔河油田原油来自寒武系一下奥陶统烃源岩^[1,2], 另一种观点认为塔河油田原油来源中, 上奥陶统烃源岩^[6,7]。我们的研究发现, 难以应用生物标志化合物将寒武系一下奥陶统和中、上奥陶统烃源岩明显地区分开。事实上, 从塔河油田长期

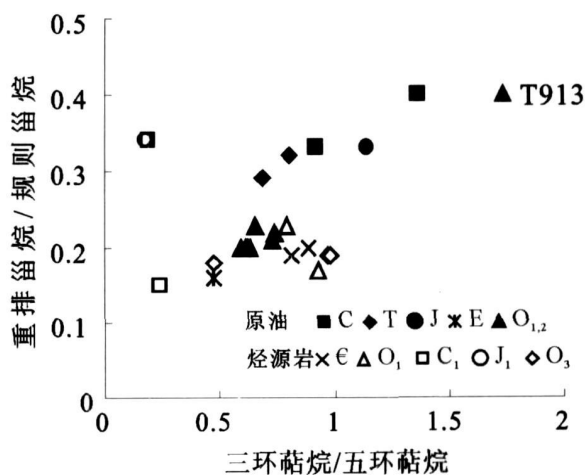


图 7 原油和烃源岩中重排甾烷/规则甾烷与三环萜烷/五环萜烷比值相关图

Fig. 7 Cross plots of $T_s/(T_s + T_m)$ vs. tricyclic terpene / pentacyclic terpene ratios in the crude oils and source rocks

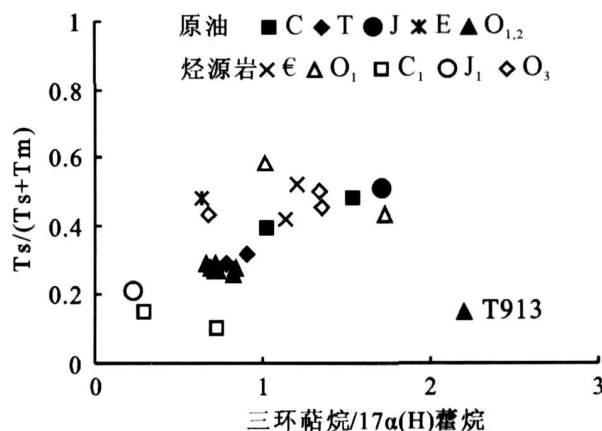


图 8 原油和烃源岩中 $T_s/(T_s + T_m)$ 与三环萜烷 / $17\alpha(H)$ 藿烷比值相关图

Fig. 8 Cross plots of $T_s/(T_s + T_m)$ vs. tricyclic terpene / $17\alpha(H)$ hopane ratios in the crude oils and source rocks

成藏和多期成藏的地质事实来看, 寒武系、奥陶系烃源岩均对塔河油田作出了重要贡献。前文生物标志化合物的油源对比表明, 塔河油田原油与寒武系、奥陶系烃源岩具有亲缘关系。同时, 应该承认下列事实: 原油主要为烃源岩早期 (第一次或第二次生油高峰期) 成烃产物, 而烃源岩中可溶有机质是烃源岩有机质演化至今的产物。例如, 寒武系一下奥陶统烃源岩目前已演化到高成熟—过成熟阶段, 主要在此阶段形成的可溶有机质可能存在下列情况: (1) 其中的生物标志化合物组成与前期的略有不同, 一种基本情况就是根据化学反应动力学原理, 高浓度的组分早期大

表 3 原油和生油岩中萜烷烃参数

Table 3 Molecular parameters of terpanes in the crude oils and source rocks

样号	油田	井号	层位	C ₂₇₊ f%	C ₂₉ f%	C ₃₀ f%	C ₃₀₊ f%	C ₂₁ C ₂₃	Ts Ts+Tm	C ₂₉ -甾 C ₃₀ -甾	γ-蜡烷 C ₃₀ -甾	C ₃₁ 2S 22R+22S	C ₃₂ 2S 22R+22S	C ₂₀₊₂₁ C ₂₂₊₂₃	三环 五环	Σ三环 17α(H)H	A	B	C	D	E
原油																					
油 5	轮南	LN-5	J	37.3	29.3	33.46	0.74	0.51	0.56	0.07	0.60	0.58	0.67	1.14	1.72	-	-	0.35	-	-	
油 16	英买力	Y9	E	26.2	39.5	34.3	1.14	0.48	0.41	0.03	0.63	0.61	1.81	0.48	0.64	0.39	0.15	0.14	2.04	3.07	
TO-2	塔河	TK120H	T	32.3	22.5	45.2	0.40	0.32	0.88	0.17	0.58	0.60	0.63	0.80	0.90	0.44	0.42	0.35	0.28	1.96	
TO-66		TK910H	T	31.4	22.4	46.2	0.41	0.29	0.88	0.14	0.56	0.57	0.64	0.69	0.78	0.40	0.36	0.41	0.49	2.06	
TO-42		TK629	C	33.4	25.3	41.3	0.43	0.39	0.82	0.10	0.60	0.60	0.72	0.92	1.03	0.45	0.41	0.18	0.89	1.88	
TO-19		TK310	C	34.2	23.2	42.5	0.46	0.48	0.87	0.18	0.61	0.60	0.84	1.37	1.54	0.42	0.49	0.18	3.49	3.06	
TO-7		TK230	O ₁₋₂ ^y	32.0	22.7	45.3	0.36	0.27	0.89	0.13	0.58	0.60	0.53	0.62	0.71	0.41	0.54	0.44	0.15	1.39	
TO-22		TK311	O ₁₋₂ ^y	31.9	21.9	46.2	0.38	0.28	0.94	0.13	0.59	0.61	0.58	0.61	0.69	0.41	0.50	0.06	0.26	1.66	
TO-29		TK469	O ₁₋₂ ^y	33.1	22.0	44.9	0.38	0.26	0.98	0.16	0.56	0.59	0.55	0.73	0.82	0.41	0.64	0.47	0.09	0.94	
TO-37		TK643	O ₁₋₂ ^y	33.2	20.9	45.9	0.33	0.29	1.07	0.15	0.59	0.60	0.48	0.59	0.66	0.39	0.55	0.46	0.08	0.97	
TO-54		T7-615	O ₁₋₂ ^y	30.1	22.3	47.6	0.36	0.29	0.89	0.15	0.59	0.59	0.56	0.64	0.72	0.44	0.58	0.36	0.14	1.25	
TO-57		T814(K)	O ₁₋₂ ^y	34.7	22.1	43.2	0.35	0.28	1.01	0.14	0.59	0.58	0.54	0.74	0.84	0.40	0.66	0.43	0.21	1.39	
TO-69		T913	O ₁₋₂ ^y	33.6	24.9	41.5	0.53	0.15	0.68	0.22	0.62	0.58	0.90	1.74	2.20	0.48	0.99	-	4.47	2.70	
TO-73		T806(K)	O ₂ ^j	30.9	22.7	46.4	0.37	0.27	0.89	0.15	0.58	0.59	0.56	0.66	0.73	0.39	0.57	0.37	0.26	1.55	
烃源岩																					
001	塔中	塔中 1 井	Є	28.5	46.6	24.9	1.11	0.42	0.30	0.02	0.59	0.60	1.61	0.81	1.13	0.42	0.19	0.11	0.22	0.68	
002		塔中 1 井	Є	29.1	39.6	31.3	0.96	0.52	0.44	0.04	0.60	0.58	0.73	0.89	1.20	0.42	0.17	-	0.35	1.04	
003		塔中 1 井	O ₁	37.6	42.7	19.7	0.83	0.43	0.49	0.03	0.58	0.59	1.26	0.93	1.73	0.42	0.36	0.13	1.13	0.33	
005		塔中 1 井	O ₁	24.0	38.6	37.4	0.50	0.58	0.32	0.02	0.61	0.59	0.61	0.79	1.02	0.33	0.38	0.15	-	-	
012		塔中 5 井	C ₁	-	-	-	1.38	0.10	1.20	0.03	0.62	0.57	3.00	0.24	0.73	0.13	0.15	0.41	0.13	0.39	
026	草湖	草 1 井	O ₃	33.2	39.8	27.0	0.63	0.50	0.43	0.03	0.62	0.57	1.02	0.97	1.34	0.42	0.31	0.11	0.36	0.32	
021	轮南	LN-32	O ₃	37.6	43.7	18.77	0.7	0.45	0.51	0.02	0.61	0.57	1.25	0.98	1.35	0.39	0.29	0.12	0.16	0.63	
022		LN-32	O ₃	33.2	34.4	32.4	1.00	0.43	0.61	0.07	0.55	0.59	1.39	0.48	0.67	0.29	0.20	0.09	0.68	0.16	
017		LN-16	C ₁	36.6	33.5	29.9	1.25	0.15	0.67	0.15	0.56	0.59	2.50	0.19	0.30	0.25	0.03	0.24	0.41	0.62	
K107	库车	K1-07	J _{1a}	39.5	28.1	32.4	0.73	0.21	-	0.02	0.37	0.58	-	0.18	0.23	0.85	0.09	-	-	-	

A = C₂₄四萜烷 / (C₂₄四萜烷 + C₂₆三萜烷); B = C₂₃三萜烷 / (C₂₃三萜烷 + C₃₀甾); C = 2S-降甾烷 / (2S-降甾烷 + C₃₀甾); D = 二萜烷 / 甾烷; E = C₁₅二萜烷 / C₁₆二萜烷; H = 甾烷。

量生成,低浓度的组分在后期相对变为主要组分而大量生成,上述甾烷组成为原油 C₂₉含量高、烃源岩 C₂₈含量高可能是这种情况,并且得到模拟实验的证明^[23]。(2)以往的研究已经表明,在有机质演化后期,吸附在强极性组分表面或空隙中的未成熟组分会释放出来^[26,27],图 4 中原油的成熟度比寒武系、奥陶统烃源岩高就是这种情况,特别是寒武系一下奥陶统烃源岩已达到高成熟一过成熟,可是甾烷成熟度参数 C₂₉20S/20S+20R 和 ββ / αα+ββ 比值还未达到平衡值就是一个例证。因此,在上述油源对比中,虽然塔河油田原油与寒武系、奥陶系烃源岩中生物标志化合物组成存在着微小的差别,但是综合分析认为,塔河油田原油与寒武系、奥陶系烃源岩存在很好的亲缘关系。

从塔河油田烃源岩分布和演化来看,结合塔河油田油气运移研究,发现塔河油田原油主要来自满加尔和草湖烃源区^[3,9,10]。前人已经通过储层沥青、流体包裹体、油气藏饱和压力、露点压力等研究认为,塔河

油田油气藏的形成期主要有 3 期,即海西晚期,燕山—喜马拉雅早期和喜马拉雅晚期^[2,4,30],反映了塔河油田油气藏的形成具有长期成藏和多次成藏的特征。在满加尔和草湖海地区,海西早期寒武系一下奥陶统烃源岩进入主要生油阶段,海西晚期奥陶系已处于生油高峰期,海西期后寒武系一下奥陶统烃源岩持续生油,喜马拉雅晚期坳陷区形成以高一过成熟阶段为主的油气,隆起斜坡地带形成以成熟—高成熟油气为主的油气^[2]。因此,在塔河油田油气藏的形成过程中,寒武系、奥陶系烃源岩均为油气藏提供了油气。

3 结论

塔河油田原油的油源目前仍然是一个有争异的问题。本文对塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩进行了地球化学分析,研究了生物标志化合物组成和分布特征,进行了油源对比。研究结果显示了原油中正构烷烃 C₂₁₋ / C₂₂₊ 比值分布特征与塔河油田原油充注的先后顺序和原油的成熟度相一致,并且与寒武系

和奥陶系烃源岩的相类似。塔河油田大部分原油的 P_r/Ph 和 P_r/nC_{17} 比值分布在一个较窄的范围内, 说明这些原油来自一个类似的生物源, 并且 P_r/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 比值指示了原油的母质为腐泥型, 形成于还原环境, 这些都与寒武系和奥陶系烃源岩的一致。塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩中甾烷分布差别是烃源岩中富 C_{28} 甾烷, 贫 C_{29} 甾烷, 这种现象被解释为由于它们的甾烷起源于有机质不同演化阶段所致。塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩中 4-甲基甾烷 规则甾烷比值的分布都是一致的。虽然寒武系、下奥陶系有机质已达到高成熟—过成熟, 但是其中 C_{29} 甾烷异构体参数和重排甾烷/规则甾烷比值略低于塔河油田原油, 这可能是高成熟阶段被强极性有机质吸附的低成熟有机分子被释放所致。塔河油田原油中二环萜烷 藿烷和 C_{24} 四环萜烷 / (C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷) 比值与寒武系、奥陶系烃源岩中的相似。塔河油田原油和寒武系、奥陶系烃源岩中藿烷分布特征类似于甾烷, 并且它们中三环萜烷相对四环萜烷的含量分布在一定的范围内。因此, 塔河油田原油与寒武系、奥陶系烃源岩具有亲缘关系。从塔河油田长期成藏和多期成藏的地质事实来看, 寒武系、奥陶系烃源岩均对塔河油田作出了重要贡献。

参考文献 (References)

- 1 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 oil field of Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(4): 363-367]
- 2 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]
- 3 顾忆, 黄继文, 邵志兵. 塔河油田奥陶系油气地球化学特征与油气运移 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 745-750 [Gu Yi, Huang Jiwen, Shao Zhibing. Petroleum geochemistry and hydrocarbon migration in Tahe Oilfield of the Tarim basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(6): 745-750]
- 4 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): 122-128 [Wang Dunze, Li Yuzhan, Yu Renlian. Characteristics and pools forming conditions of the lower Ordovician reservoirs in Tahe Oilfield the Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(2): 122-128]
- 5 李国政, 王辉, 丁勇. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油气藏石油地质条件 [J]. 新疆石油地质, 2002, 23(6): 494-496 [Li Guozheng, Wang Hui, Ding Yong. The basic petroleum geology conditions for formation

- of Ordovician carbonate reservoir in Tahe oilfield Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(6): 494-496]
- 6 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 Digan, Li Maowen, et al. The correlation between molecular fossil and oil-source in Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47 (Suppl): 19-23]
- 7 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): 32-38 [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): 32-38]
- 8 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]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(4): 359-364]
- 9 郑朝阳, 段毅, 吴保祥, 等. 塔里木盆地塔河油田原油中生物标志化合物组成特征与石油运移 [J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 482-486 [Zheng Zhaoyang, Duan Yi, Wu Baoxiang, et al. The biomarker maturity parameters and migration for oils from Tahe Oilfield in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(3): 482-486]
- 10 段毅. 塔里木盆地塔河油田原油中双金刚烷分布特征与油气运移 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5): 693-696 [Duan Yi. Distribution of double diamondane hydrocarbons in crude oils from Tahe oilfield of Tarim basin and its implication for oil and gas migration [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(5): 693-696]
- 11 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
- 12 Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1999, 83(12): 1927-1942
- 13 Hanson A D, Zhang S C, Moklowan J M, et al. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin Northwest China [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 2000, 84: 1109-1128
- 14 Li M W, Lin R Z, Liao Y S, et al. Organic geochemistry of oils and condensates in the Kekeya field, southwest depression of the Tarim Basin (China) [J]. Organic geochemistry, 1999, 30: 15-37
- 15 朱扬明. 塔里木盆地相原油的地球化学特征 [J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 26-30 [Zhu Yangming. Geochemical characteristics of terrestrial oils of the Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 26-30]
- 16 Moklowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1985, 69: 1255-1268
- 17 Philip R P, Fan P, Lewis C A, et al. Geochemical characteristics of oils from Qaidam, Shangganning and Jiangnan Basins, China [J]. Journal of Southeast Asian Earth Science, 1991, 5: 351-358.
- 18 Duan Y, Ma L H. Lipid geochemistry in a sediment core from Ruergai marsh deposit (Eastern Qinghai Tibet Plateau, China) [J]. Or-

- ganic Geochemistry 2001, 32: 1429-442
- 19 Duan Yi, Zheng Chaoyang, Wang Zhiping *et al*. Biomarker geochemistry of crude oils from Qaidam Basin, Northwestem China [J]. *Petroleum Geology*, 2006, 29(2): 175-188
- 20 Duan Yi, Wang Chuanyuan, Zheng Chaoyang *et al*. Geochemical study of crude oils from Xifeng Oilfield of Ordos Basin, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 31(4/6): 341-356
- 21 Volkman JK. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter [J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 9: 83-99
- 22 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
- 23 夏燕青, 罗斌杰. 南宁盆地第三系木质褐煤中甾类化合物热模拟实验研究 [J]. *石油实验地质*, 1995, 17(3): 301-309 [Xia Yanqing Luo Binjie. Study on steroids in Tertiary wood coal from Nanning Basin by thermal-modelling experiments [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1995, 17(3): 301-309]
- 24 Peters K E, Moldovan J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments* [M]. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1993: 363
- 25 Zhang S C, Hanson A D, Moldovan J M, *et al*. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim Basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 273-286
- 26 Peters K E, Moldovan J M, Sundararaman P. Effects of hydrous pyrolysis on biomarker thermal maturity parameters Monterey phosphatic and siliceous members [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 15: 249-265
- 27 Peters K E, Scheuerman G C, Lee C Y, *et al*. Effects of refinery processes on biological markers [J]. *Energy & Fuels*, 1992, 6(5): 560-577
- 28 Seifert W K, Moldovan J M. Application of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils [J]. *Geochemistry et Cosmochimica Acta*, 1978, 42: 77-95
- 29 Aquino Neto F R, Trendel J M, Restle A, *et al*. Occurrence and formation of tricyclic and tetracyclic terpanes in sediments and petroleum [C] // Bjorøy M, *et al* Ed. *Advances in Organic Geochemistry* 1981. John Wiley, Chichester, 1983: 659-667
- 30 丁勇, 晏银华, 顾忆, 等. 塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制 [J]. *新疆石油地质*, 2001, 22(6): 478-480 [Ding Yong, Yan Yin-hua, Gu Yi. Pool-forming history and mechanism of Tahe oilfield of Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2001, 22(6): 478-480]

Study of Oil-Source Correlation for Tahe Oilfield of Tarim Basin

DUAN Yi YU Wen-xiu ZHENG Zhao-yang WANG Chuan-yuan WU Bao-xiang SUN Tao
(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000)

Abstract Tahe oilfield of Tarim basin is the largest oilfield found in Paleozoic marine carbonate in China so far. However, its oil source is not still ascertained. In this paper, geochemical compositions of the crude oils of Tahe oilfield and Cambrian-Ordovician source rocks were studied, and oil-source correlation was carried out. The compositional and distributional characteristics of n-alkanes, isoprenoid hydrocarbons, steranes and terpanes in crude oils and source rocks indicate that the studied crude oils are closely related to Cambrian-Ordovician source rocks. This is identical with the geological fact that Tahe oilfield has undergone the long-term and multi-period accumulation process which permitted the Cambrian-Ordovician source rocks to continuously supply crude oil for the oilfield. This result still shows that the difference in biomarker compositions between the crude oils from Tahe oilfield and Cambrian-Ordovician source rocks may be related to the contribution of these biomarker compounds originated from different evolutionary stages of organic matter. This should be paid special attention to study the correlation of oil and source rock with high maturity.

Key words Tahe Oilfield, crude oil and source rocks, biomarkers, oil-source correlation