

田德瑞,牛成民,王德英,等. 渤海海域辽西凸起锦州 A 构造原油地球化学特征及油源分析[J]. 海洋地质前沿,2019,35(6):20-30.

# 渤海海域辽西凸起锦州 A 构造原油地球化学特征及油源分析

田德瑞,牛成民,王德英,潘文静,王晓玲

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459)

**摘要:**通过对辽西凸起锦州 A 构造沙河街组二段原油的地球化学分析,研究了原油的物性、成熟度和生物标志化合物特征。通过对比辽西凹陷和辽中凹陷已发现典型油气田的原油地球化学特征,结合区域地质背景分析了锦州 A 构造的油源。研究表明,锦州 A 构造西盘为低蜡、低硫凝析原油,而东盘为高蜡、低硫轻质原油。原油饱和和炔色谱完整,显示未遭受明显生物降解。油源母质为混合型,沙河街组二段原油陆源有机质输入较少。原油形成于弱还原—还原条件下的微咸水或咸水沉积环境。根据锦州 A 构造原油的生物标志物特征,利用聚类分析方法划分为 2 类原油:Ⅰ类原油表现为高伽马蜡烷指数、低—中等四甲基萘烷指数、低藿烷/萘烷、高  $C_{27}/C_{29}$  萘烷和高  $C_{28}/C_{29}$  萘烷比值,主要来源于辽西凹陷沙一段烃源岩;Ⅱ类原油表现为低—中等伽马蜡烷指数、中等—高四甲基萘烷指数、高藿烷/萘烷、中等  $C_{27}/C_{29}$  萘烷和低  $C_{28}/C_{29}$  萘烷比值,主要来源于辽中凹陷沙三段烃源岩。

**关键词:**原油;生物标志物特征;油源对比;辽西凸起;渤海海域

中图分类号:P736;TE133+.1 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.06003

## 0 引言

辽西凸起是辽东湾拗陷油气最富集的地区之一,被辽西凹陷和辽中凹陷 2 个生烃凹陷包围。自 20 世纪 80 年代以来,在该凸起上的东营组、沙河街组和太古界潜山已发现了多个大中型油气田<sup>[1-6]</sup>,是辽东湾地区油气勘探的重要区域。然而,辽西凸起的油气勘探自锦州 20 油田发现后一直没有大的突破<sup>[7]</sup>。2009 年部署在辽西凸起北段锦州 A 构造上的重点探井 JZ-1A 井在沙河街组二段(以下简称沙二段)获得成功,用 9.40 mm

油嘴求产,日产原油 114.2 m<sup>3</sup>,天然气 29.06 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,气油比 2 545,这一突破预示辽西凸起中北段已初步具有满带含油的特征,对支撑后期辽西凸起围区海上油田长期稳产具有重要的意义。

尽管前人曾对辽东湾地区早期已发现油气田的油气来源进行了分析<sup>[6,8-10]</sup>,但目前还未见文献对锦州 A 构造的原油进行地球化学研究,且该构造的油气来源尚不清楚,极大地制约着辽西凸起围区,特别是辽中凹陷西部斜坡带的下一步油气勘探进程。

本文通过对锦州 A 构造已钻 4 口探井的原油地球化学特征开展系统研究,并与辽东湾地区烃源岩及已发现油气田原油的地球化学特征进行精细对比,结合区域地质背景及原油成熟度的分析,进一步明确锦州 A 构造的油气来源。这项工作可为辽西凸起及围区斜坡带未来的油气勘探提供依据,

收稿日期:2018-11-30

基金项目:国家“十三五”科技重大专项(2016ZX05024-002-006)

作者简介:田德瑞(1987—),男,硕士,工程师,主要从事油气成藏机理与油气地球化学方面的研究工作。E-mail:tianderui@126.com

同时也为深化本区勘探认识提供重要参考。

## 1 地质背景

锦州 A 构造位于渤海海域辽西凸起中北段,主要为依附于辽西 3 号断裂“S”型走滑转换带形成的复杂断鼻、断块构造,进一步又被调节断层所分割,具有多断块、多高点的构造特征(图 1)。辽东湾地区已钻井揭示该构造围区主要发育沙河街组三段、沙河街组一段和东营组三段(以下分别简称沙三段、沙一段和东三段)3 套烃源岩(图 2)<sup>[11-13]</sup>,田金强等<sup>[7,10]</sup>和姜雪等<sup>[14]</sup>系统分析了辽东湾地区 3 套烃源岩的地球化学特征,认为沙三段烃源岩为弱氧化—弱还原的淡水—微咸水沉积

环境,以 II 型为主,TOC 平均为 1.79%,沙一段烃源岩为还原的咸水沉积环境,以 I 和 II 型为主,TOC 平均为 1.85%,东三段烃源岩为弱氧化—弱还原的淡水沉积环境,以 II 和 III 型为主,TOC 平均为 1.53%。

锦州 A 构造的储层为古近系沙二段,为辫状河三角洲沉积,主要物源来自辽西凸起。根据岩心、壁心、岩屑观察,结合薄片鉴定等综合分析认为,沙二段储层岩性以中、细粒岩屑长石砂岩为主,矿物成分主要为石英、长石和岩屑。石英含量为 15.0%~69.5%,平均 43.6%;长石含量为 11.0%~49.0%,平均 32.2%;岩屑含量为 16.0%~50.0%,平均 24.2%。沙二段碎屑颗粒分选程度为中等—好,磨圆度次圆—次棱状。

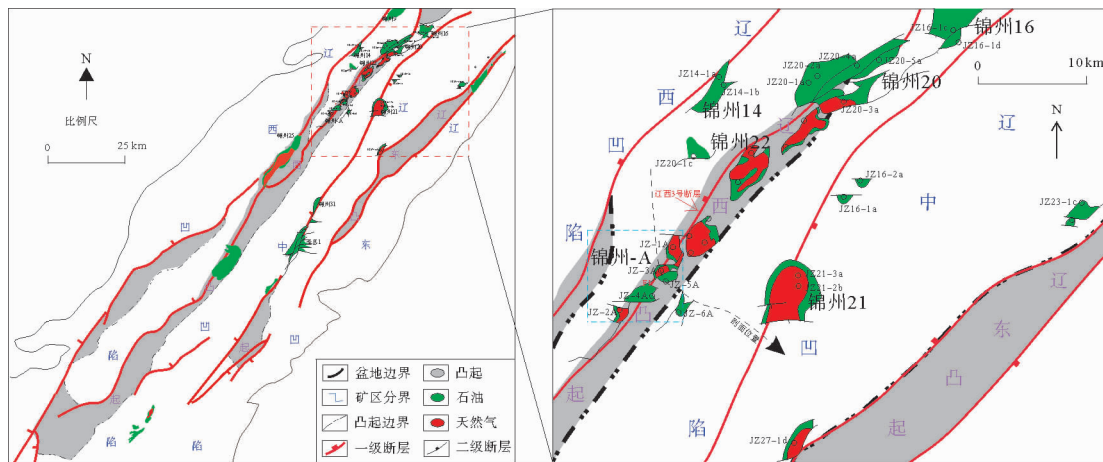


图 1 渤海海域辽西凸起锦州 A 构造区域位置图

Fig. 1 Regional tectonic map of the JZ-A structure on the Liaoxi Uplift, Bohai Sea

## 2 样品与实验方法

样品取自锦州 A 构造及围区已发现的油气田和含油气构造(图 1),其中烃源岩样品为富含有机质的泥岩和页岩岩屑及岩心;原油样品为钻柱测试和电缆取样获得的原油。实验在中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室完成,对饱和烃馏分进行色谱质谱分析。

饱和和烃色谱质谱分析条件:仪器为 Agilent7890-5975c 气相色谱质谱联用仪,色谱柱为 HP-5ms 弹性石英毛细柱(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。升温程序:50 °C 恒温 1 min,从 50 °C 至

120 °C 的升温速率为 20 °C/min,120~250 °C 的升温速率为 3 °C/min,250~310 °C 的升温速率为 3 °C,310 °C 恒温 30 min。进样口温度 300 °C,载气为氦气,载气流速为 1 mL/min;检测方式为全扫描,电离能量为 70 eV。

## 3 原油地球化学特征

### 3.1 物性特征

锦州 A 构造的原油储层是沙二段。原油化验分析显示,构造西盘 JZ-1A 井原油密度为 0.77 g/cm<sup>3</sup>,原油黏度为 1.47 mPa·s,为凝析原油。原油含蜡量为 3.48%,为低含蜡量凝析油。

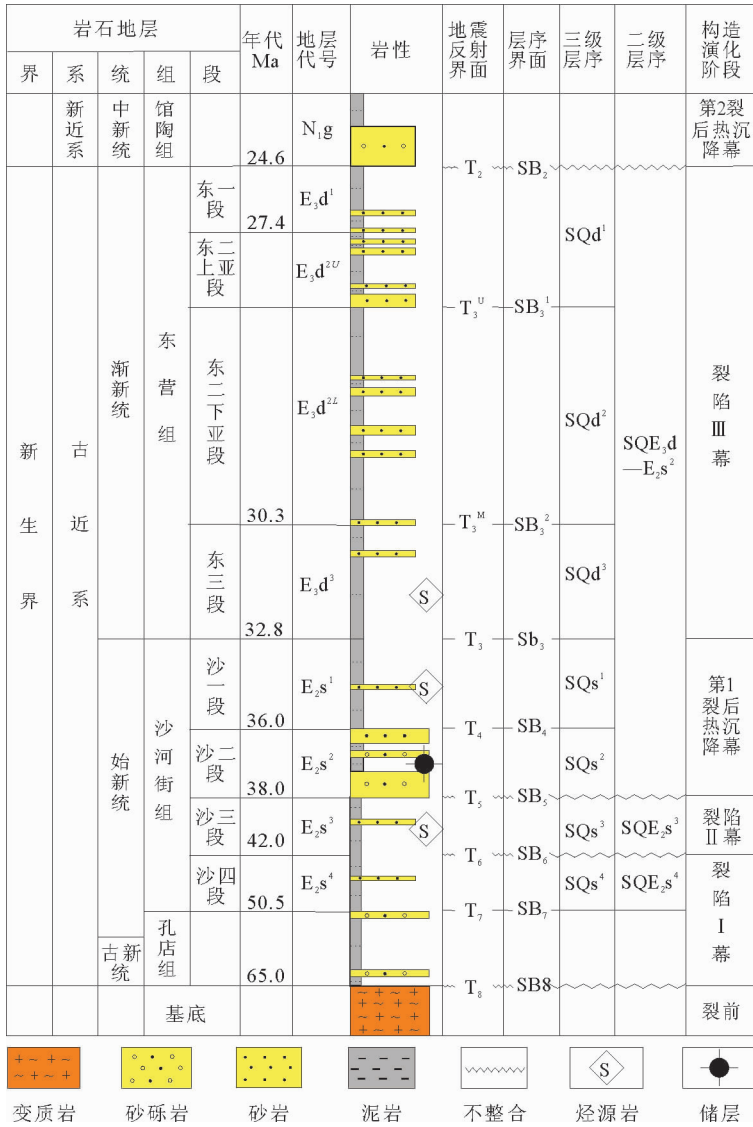


图2 渤海海域辽东湾地区综合地层柱状图

Fig. 2 Integrated stratigraphic column of Liaodong Bay area, Bohai Sea

原油含硫量为 0.02%，为低硫原油(表 1)。构造东盘 JZ-5A 井原油密度为 0.84 g/cm<sup>3</sup>，原油黏度为 4.70 mPa·s，为轻质原油。原油含蜡量为

18.63%，为高含蜡量原油。原油含硫量为 0.08%，为低硫原油(表 1)，锦州 A 构造东西两盘原油具有明显不同的物理性质。

表 1 辽西凸起锦州 A 构造原油物性数据

Table 1 Physical property data of crude oils in JZ-A structure, Liaoxi Uplift

井号	层位	深度/m	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	黏度/(mPa·s)	凝固点/℃	含蜡量/%	含硫量/%
JZ-1A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 614.6	0.774 2	1.47	0.00	3.48	0.02
JZ-5A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 565.3	0.844 2	4.70	23.00	18.63	0.08

### 3.2 生物标志物特征

#### 3.2.1 原油类别及平面分布

聚类分析是一种划分不同来源原油类型的有

效方法<sup>[15-17]</sup>，选取有效的油源对比参数应用于聚类分析是十分重要的<sup>[18]</sup>。郝芳等<sup>[19-21]</sup>通过对渤海海域的研究，认为 4-甲基甾烷指数和伽马蜡烷指数等 10 个饱和和烃生标参数未明显受热演化程

度和生物降解的影响,可以作为指示有机质来源和沉积环境的有效参数。

为了进一步判别锦州 A 构造的原油,本次研究沿用这 10 个生标参数进行聚类分析,将锦州 A 构造原油划分为两大类(图 3)。根据图 3 显示的聚类分析的结果, I 类原油为 JZ-1A 井和 JZ-3A 井的原油,分布于锦州 A 构造的西盘(F1 断裂以西); II 类原油为 JZ-4A 井和 JZ-5A 井的原油,分布于锦州 A 构造的东盘(F1 断裂以东)。

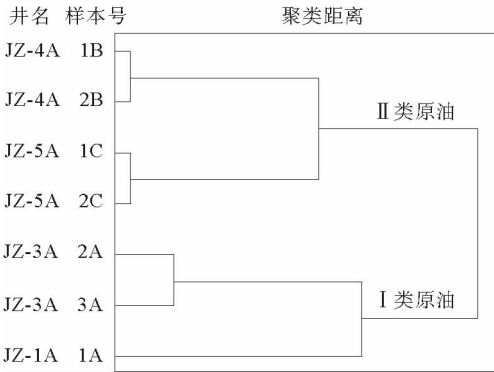


图 3 辽西凸起锦州 A 构造原油聚类分析结果

Fig. 3 Results of hierarchical cluster analysis showing crude oil classes from the JZ-A structure, Liaoxi Uplift

表 2 辽西凸起锦州 A 构造原油全烃气相色谱数据

Table 2 Gas chromatography data of crude oils from JZ-A structure, Liaoxi Uplift

井号	层位	深度/m	主峰碳	Pr/Ph	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>	CPI	OEP	ΣC <sub>21</sub> -/ΣC <sub>22+</sub>
JZ-1A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 614.6	19	0.95	0.43	0.39	1.20	1.09	1.61
JZ-3A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 572.0	19	0.76	0.44	0.43	1.14	1.08	1.06
JZ-3A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 580.7	19	0.95	0.43	0.42	1.11	1.07	1.35
JZ-4A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 568.5	19	1.27	0.64	0.62	1.18	0.71	1.56
JZ-5A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 565.3	22	0.96	0.43	0.39	1.07	1.05	0.74
JZ-5A	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	2 569.5	22	0.63	0.40	0.38	1.07	1.05	0.49

原油的 Pr/nC<sub>17</sub> 和 Ph/nC<sub>18</sub> 比值常用于原油成熟度和烃源岩母质类型的研究<sup>[30-31]</sup>。Pr/nC<sub>17</sub> 和 Ph/nC<sub>18</sub> 相关图指示锦州 A 构造的原油具有相似的母质来源,且均为混合型(图 4)。

### 3.2.3 萜烷

根据前人对渤海湾盆地的研究,大量的伽马蜡烷常常指示有机质沉积时的纵向水体分层和高盐条件<sup>[32-34]</sup>,尤其在沙一段最为明显<sup>[28,35-40]</sup>。锦州 A 构造 I 类原油伽马蜡烷指数较高,分布于 0.25~0.34(表 3),说明该类原油形成于微咸

### 3.2.2 链烷烃及姥植比

锦州 A 构造沙二段原油正构烷烃的碳数范围为 nC<sub>9</sub>—nC<sub>37</sub>,峰型相似,均为单峰型,以 C<sub>19</sub>—C<sub>22</sub> 为主峰,指示原油未遭受明显生物降解。一般认为,碳数小于 C<sub>21</sub> 的正构烷烃主要来源于低等水生生物,大于 C<sub>21</sub> 的高碳数正构烷烃主要来源于陆源高等植物<sup>[22-23]</sup>,沙二段原油 ΣC<sub>21</sub>-/ΣC<sub>22+</sub> 比值除 2 个样品外,均 >1,低碳数优势明显,指示沙二段原油的生油母质主要来源于低等水生生物。正构烷烃奇偶优势不明显,碳优势指数 CPI 值介于 1.07~1.20,奇偶优势指数 OEP 值除 JZ-4A 井为 0.71 外,其余井介于 1.05~1.09(表 2)。

姥植比(Pr/Ph)是反映沉积环境的重要生标参数<sup>[24-27]</sup>。已有研究认为,在渤海海域 Pr/Ph < 1 为缺氧环境,且通常为碳酸盐岩或盐度较高的沉积环境,Pr/Ph 介于 1~3 时通常为低氧环境,Pr/Ph > 3 为陆源有机质输入较多的好氧环境<sup>[28,29]</sup>。锦州 A 构造沙二段原油的 Pr/Ph 比值为 0.63~1.27(表 2),除 JZ-4A 井为 1.27 外,其余均 < 1。总体来说,原油为植烷优势型,指示原始生油母质形成于弱还原—还原的缺氧沉积环境。

水—咸水湖泊沉积环境。II 类原油表现为低—中等伽马蜡烷指数,介于 0.14~0.19(表 3),指示沉积于微咸水沉积环境。

研究表明,萜烷参数可以反映陆源有机质输入的贡献<sup>[35]</sup>。前人针对渤海湾盆地的研究表明,高 C<sub>19</sub> 三环萜烷/C<sub>23</sub> 三环萜烷(C<sub>19</sub>/C<sub>23</sub> TT)、高 C<sub>20</sub> 三环萜烷/C<sub>23</sub> 三环萜烷(C<sub>20</sub>/C<sub>23</sub> TT)和高 C<sub>24</sub> 四环萜烷/C<sub>26</sub> 三环萜烷(C<sub>24</sub> Tet/C<sub>26</sub> TT)比值常常指示较高的陆源有机质输入<sup>[19-21,29]</sup>。锦州 A 构造 I 类和 II 类原油的 C<sub>19</sub>/C<sub>23</sub> TT 和 C<sub>20</sub>/C<sub>23</sub> TT 比

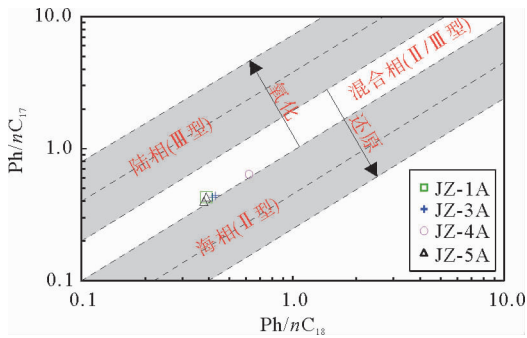


图4 辽西凸起锦州A构造原油Pr/nC<sub>17</sub>和Ph/nC<sub>18</sub>值相关图(据文献[31])

Fig. 4 Cross plot of Pr/nC<sub>17</sub> and Ph/nC<sub>18</sub> of crude oils from JZ-A structure on the Liaoxi Uplift (from reference [31])

值均较低(表3),指示陆源有机质输入较少。此外,原油中丰富的C<sub>24</sub>四环萜烷也可能指示碳酸盐岩和蒸发岩的沉积环境<sup>[35,41]</sup>。锦州A构造I类原油较II类原油具有相对更高的C<sub>24</sub>四环萜烷含量(图5),指示I类原油生烃母质的沉积环境偏咸水环境,这与伽马蜡烷指数所反映的水体环境是一致的(图6,表3)。

### 3.2.4 甾烷

C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)甾烷和C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ)甾烷参数常用来表征成熟度<sup>[17,35,42-44]</sup>。黄第藩等<sup>[44]</sup>研究认为,C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)和C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ)比值<0.25为未成熟原油;0.25~0.4

表3 辽西凸起锦州A构造原油地球化学参数

Table 3 Geochemical parameters of crude oils from JZ-A structure on the Liaoxi Uplift

井号	样号	井段/m	层位	A*	B*	C*	D*	E*	F*	G*	H*	I*	J*	K	L	M	N	P
JZ-1A	1A	2 614.6	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.19	0.47	1.69	0.18	0.56	0.25	0.23	0.62	4.20	0.46	1.23	0.24	0.31	0.41	0.32
JZ-3A	2A	2 572.0	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.10	0.33	1.75	0.09	0.51	0.34	0.20	0.45	4.54	0.56	1.71	0.26	0.39	0.51	0.34
JZ-3A	3A	2 580.7	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.13	0.36	1.72	0.11	0.47	0.32	0.18	0.38	5.57	0.48	2.23	0.36	0.47	0.77	0.56
JZ-4A	1B	2 569.5	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.29	0.45	0.47	0.09	0.52	0.14	0.40	0.55	10.26	0.44	0.97	0.38	0.43	0.71	0.62
JZ-4A	2B	2 568.5	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.38	0.52	0.47	0.12	0.53	0.14	0.40	0.55	10.06	0.45	0.94	0.38	0.41	0.64	0.60
JZ-5A	1C	2 565.3	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.20	0.36	0.56	0.09	0.49	0.19	0.37	0.42	10.06	0.54	2.47	0.48	0.60	1.55	0.92
JZ-5A	2C	2 569.5	E <sub>2</sub> s <sup>2</sup>	0.15	0.33	0.54	0.10	0.49	0.18	0.34	0.45	15.07	0.50	2.00	0.38	0.55	1.01	0.62

注:(A)C<sub>19</sub>/C<sub>23</sub>三环萜烷;(B)C<sub>20</sub>/C<sub>23</sub>三环萜烷;(C)C<sub>24</sub>四环萜烷/C<sub>26</sub>三环萜烷;(D)C<sub>23</sub>三环萜烷/αβC<sub>30</sub>藿烷;(E)ETR(长链三环萜烷比值);(F)伽马蜡烷/αβC<sub>30</sub>藿烷;(G)4-甲基甾烷指数(4-甲基甾烷/ΣC<sub>29</sub>甾烷);(H)C<sub>27</sub>重排胆甾烷/C<sub>27</sub>胆甾烷;(I)藿烷/甾烷;(J)C<sub>35</sub>升藿烷/C<sub>34</sub>升藿烷;(K)Ts/Tm;(L)C<sub>29</sub>ααS/(S+R);(M)C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ);(N)C<sub>29</sub>ββR/ααR;(P)C<sub>29</sub>ααS/R

\* 用于聚类分析的生标参数

为低成熟原油;>0.4为成熟原油。锦州A构造I类原油样品的C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ)值分布在0.31~0.47,平均值为0.39;II类原油样品的C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ)值分布在0.41~0.60,平均值为0.50。I类原油样品的C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)值分布在0.24~0.36,平均值为0.29;II类原油样品的C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)值分布在0.38~0.48,平均值为0.41(表3)。根据C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)甾烷和C<sub>29</sub>ββ/(αα+ββ)甾烷相互关系图可以看出,I类原油为低熟—成熟的原油,II类原油为成熟原油(图6b)。此外,II类原油中JZ-5A井原油的成熟度要高于JZ-4A井(图6b,表3)。

4-甲基甾烷通常与渤海海域沙三段典型沟鞭藻类化石渤海藻和副渤海藻等勃发有关<sup>[45]</sup>。I类原油4-甲基甾烷指数为低—中等(0.18~0.23,平

均为0.20)(表3,图6a),指示渤海藻和副渤海藻等沟鞭藻类输入较少;II类原油表现为中等—高4-甲基甾烷指数(0.34~0.40,平均为0.38)(表3,图6a),指示相对较多的渤海藻和副渤海藻等沟鞭藻类的贡献,即沙三段烃源岩对II类原油的贡献较大。

C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>、C<sub>29</sub>规则甾烷的相对含量可以反映烃源岩的有机质输入条件<sup>[23,46]</sup>。一般认为,C<sub>27</sub>甾烷主要来源于藻类<sup>[47]</sup>,C<sub>28</sub>甾烷主要来源于浮游植物<sup>[48]</sup>,而C<sub>29</sub>甾烷主要来源于陆源高等植物<sup>[47]</sup>。I类原油以C<sub>27</sub>占优势为特征,C<sub>28</sub>和C<sub>29</sub>含量较少,其形态呈L型(表3、图5),说明有机质母源以浮游植物为主;II类原油以C<sub>27</sub>和C<sub>29</sub>优势为特征,C<sub>28</sub>含量较少,其形态呈近似对称的V型(表3、图5),说明有机质母源以藻类为主,同时存在少量高等植物的贡献。

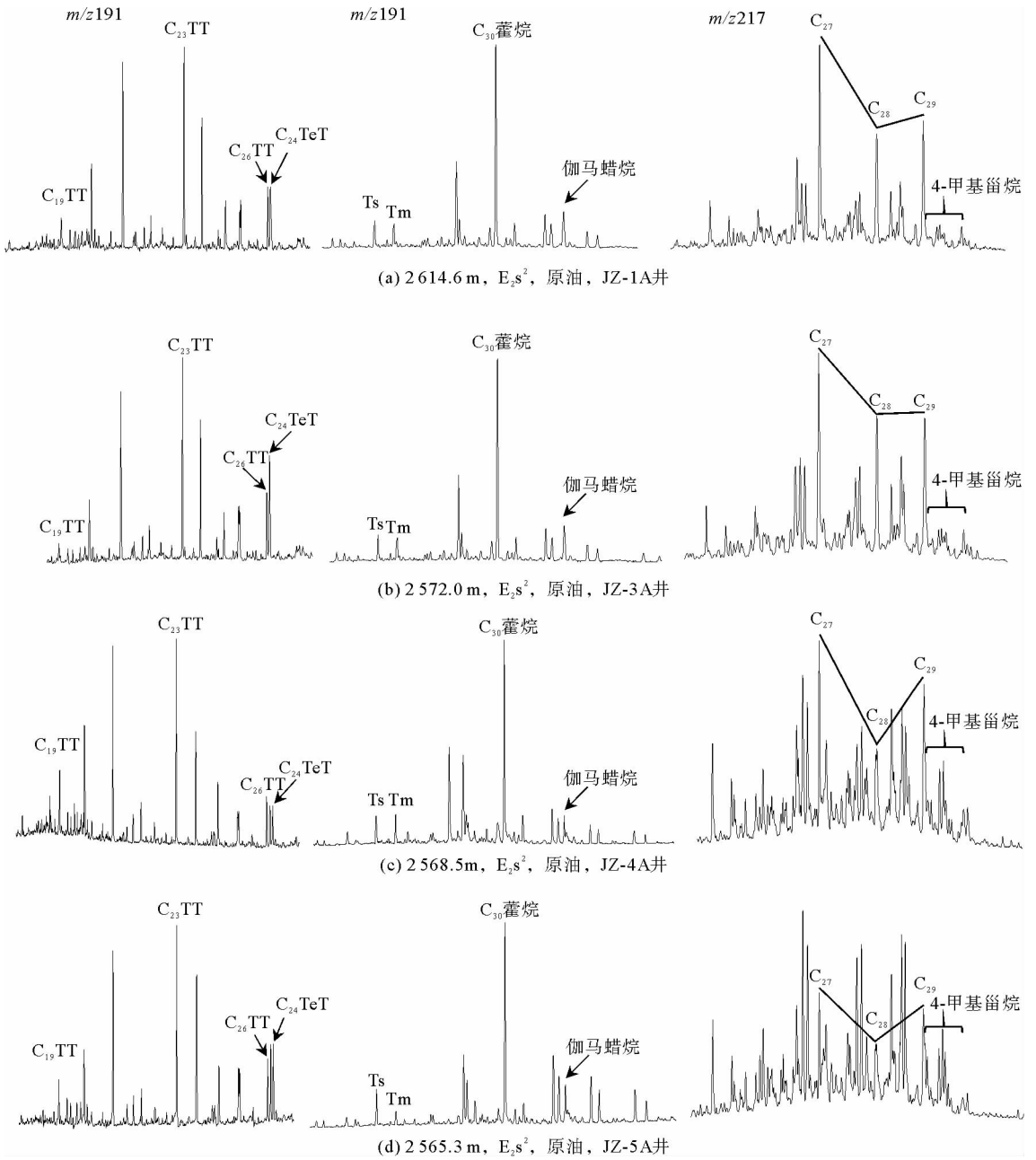


图 5 辽西凸起锦州 A 构造原油样品  $m/z191$  和  $m/z217$  质量色谱特征

Fig. 5 Mass chromatogram of  $m/z191$  and  $m/z217$  of crude oils from JZ-A structure on the Liaoxi Uplift

前人针对渤海海域的研究认为,沙一段烃源岩的  $C_{28}/C_{29}$  甾烷比值最高,沙三段次之,东三段最小<sup>[49]</sup>。I 类原油的  $C_{27}/C_{29}$  甾烷和  $C_{28}/C_{29}$  甾烷比值均比较高,而 II 类原油具有相对中等的  $C_{27}/C_{29}$  甾烷比值和较低的  $C_{28}/C_{29}$  甾烷比值,说明 I 类原油可能更多来源于沙一段烃源岩的贡献(表 3,图 6d)。

藿烷/甾烷比值(H/S)可以作为反映真核生物(主要是藻类和高等植物)和原核生物(细菌)输

入的有效指标<sup>[35,38]</sup>。在渤海海域,沙一段烃源岩的藿烷/甾烷比值最低,沙三段和东三段烃源岩较高<sup>[49]</sup>,藿烷/甾烷可以作为反映有机质生源的有效指标。I 类原油藿烷/甾烷比值较低,为 4.20~5.57; II 类原油藿烷/甾烷比值相对较高,为 10.06~15.07(图 6c,表 3),推测 I 类原油可能沙一段烃源岩的贡献较多,II 类原油可能主要为沙三段烃源岩的贡献。

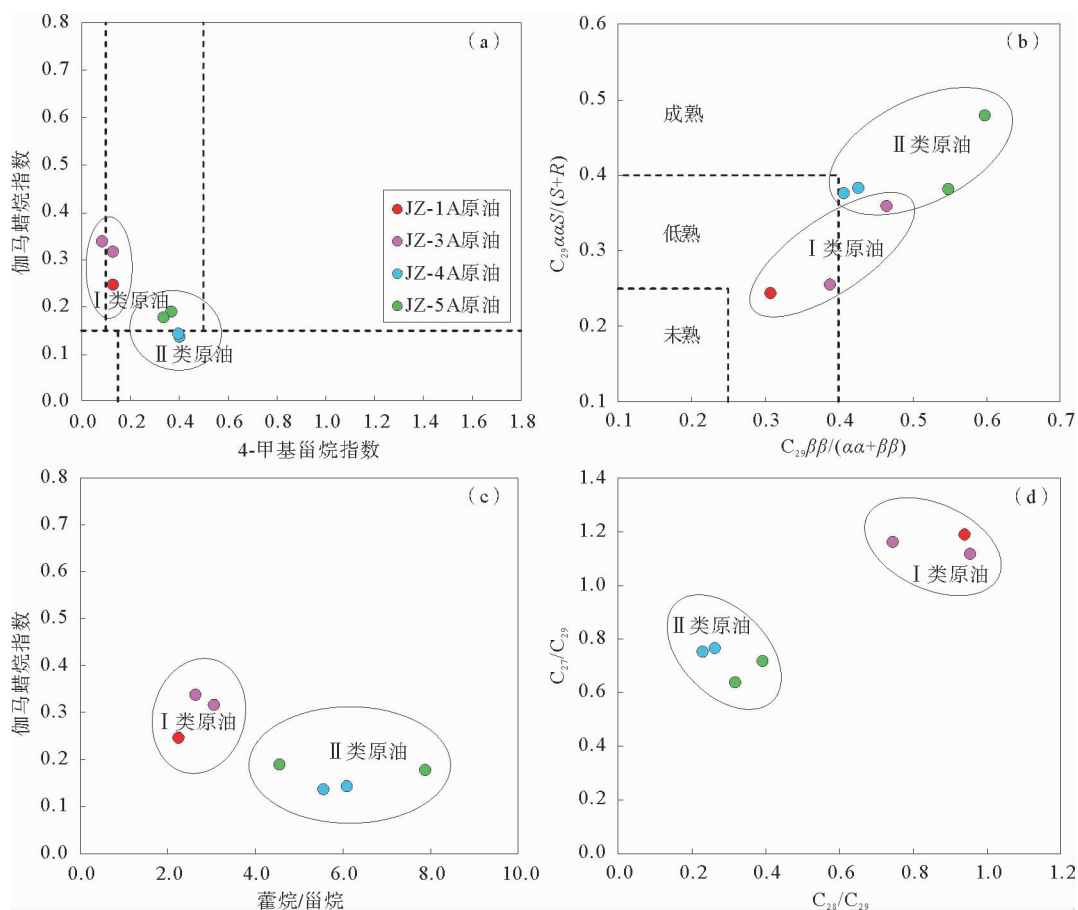


图6 辽西凸起锦州A构造原油样品生物标志化合物参数对比

Fig. 6 Correlation diagrams showing the biomarker parameters of crude oils from JZ-A structure on the Liaoxi Uplift

黄第藩等<sup>[44,50]</sup>曾利用 $C_{29}$ 甾烷研究油气运移现象,由于异胆甾烷( $C_{29}\beta\beta R$ )的运移能力高于正常胆甾烷( $C_{29}\alpha\alpha R$ ),故随着运移效应的增加, $C_{29}\beta\beta R/\alpha\alpha R$ 比值会显著增加。锦州A构造原油(除JZ-5A井的一个样本点外的) $C_{29}\alpha\alpha S/R$ 和 $C_{29}\beta\beta R/\alpha\alpha R$ 分别为0.32~0.62和0.41~1.01(表3),还远未达到异构化的终点(图7),没有表现出明显的运移效应,推测应该来源于围区附近烃源岩的贡献。而II类原油中JZ-5A井的1个原油样品的 $C_{29}\alpha\alpha S/R$ 和 $C_{29}\beta\beta R/\alpha\alpha R$ 明显高于其他探井,分别为0.92和1.55,运移效应较明显,结合原油成熟度分析(图5b),推测可能有深层成熟度较高烃源岩的贡献。

## 4 油源分析

### 4.1 烃源岩地球化学特征

根据前人对辽东湾地区烃源岩地球化学特征

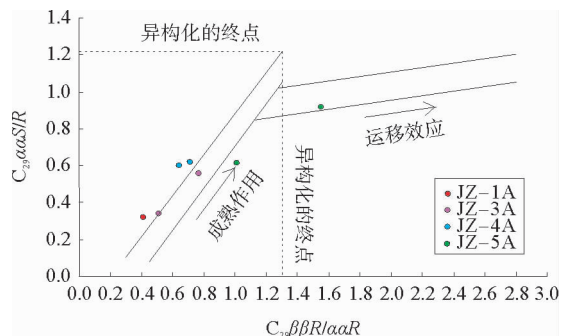


图7 辽西凸起锦州A构造原油中 $C_{29}\alpha\alpha S/R$ 甾烷与 $C_{29}\beta\beta R/\alpha\alpha R$ 甾烷值相关图(据文献[50])

Fig. 7 Correlation diagram of  $C_{29}\alpha\alpha S/R$  vs.  $C_{29}\beta\beta R/\alpha\alpha R$  ratios of crude oils from JZ-A structure on the Liaoxi Uplift (from reference [50])

的分析<sup>[6-10,14,49]</sup>,沙一段烃源岩主要表现为中等—高伽马蜡烷和中等—低4-甲基甾烷的特征,沉积于半咸水—咸水环境(图8a),母质来源主要为硅藻等特殊浮游植物。沙三段烃源岩主要表现为低—中等伽马蜡烷和中等—高4-甲基甾烷的特

征,沉积于淡水—微咸水环境(图 8a),母质来源以渤海藻和副渤海藻等沟鞭藻类为主。已有研究表明,伽马蜡烷指数和 4-甲基甾烷指数是区分渤海海域沙三段和沙一段烃源岩生成原油的重要指

标<sup>[19-21,29]</sup>。由于辽东湾地区沙三段有效烃源岩埋深较大,探井主要分布在陡坡带和斜坡带,钻井揭示的沙三段烃源岩以未熟—低熟为主,少量为成熟烃源岩(图 8b)。

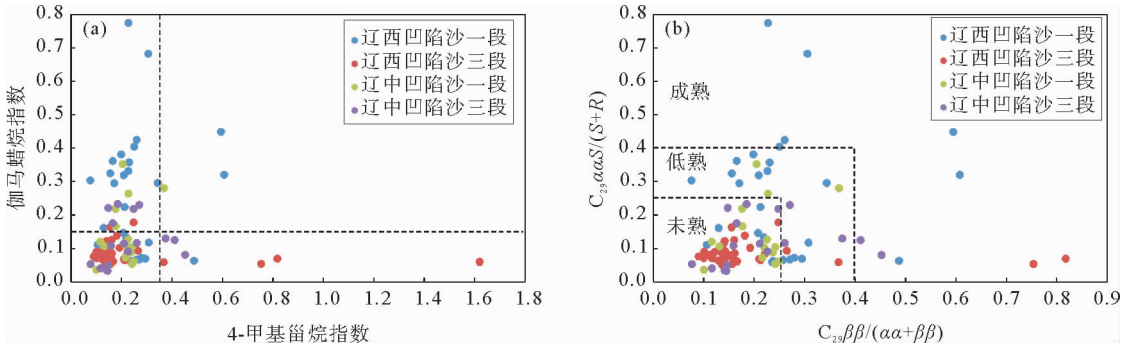


图 8 辽东湾地区烃源岩生物标志化合物参数对比

Fig. 8 Correlation diagrams showing the biomarker parameters of source rocks in Liaodong Bay area

### 4.2 油源对比

根据原油生物标志化合物特征的分析, I 类原油主要来源于沙一段烃源岩的贡献, 而 II 类原油主要来源于沙三段烃源岩的贡献。为了进一步明确两类原油的烃源灶, 可将两类原油与辽西凹陷和辽中凹陷已发现典型油气田的原油进行对比分析, 以明确其生烃灶。根据图 9 所示, I 类原油与辽西凹陷中心的锦州 14 和锦州 20 油田的原油亲缘关系较好, 与辽中凹陷的原油区别较大, 推测其生烃灶为辽西凹陷。II 类原油与辽中凹陷中心

的金县 1、锦州 16 和锦州 31 油田相似, 所以 II 类原油的生烃灶应该为辽中凹陷。

另外, 根据原油物性的分析, 以锦州 A 构造东西两盘的分隔断层 F1 为界, 西盘为天然气和凝析油, 东盘为正常的轻质原油, 两盘的原油性质完全不同。从油气水对比关系分析, 西盘的天然气和凝析油对接东盘的轻质油, 且 F1 断层两盘油气水界面和流体性质存在显著差异(图 10), 说明 F1 断层起到了明显分隔东西两盘油气的作用, 东西两盘为不同的油气成藏系统。

综合原油物性、生物标志物特征及油藏剖面图分析认为, 锦州 A 构造西盘 I 类原油主要来源于辽西凹陷沙一段烃源岩, 东盘 II 类原油主要来源于辽中凹陷沙三段烃源岩。

由此表明, 辽中凹陷深层生成的油气已运移至辽西凸起上的构造圈闭中聚集成藏, 但由于辽西凸起北段的大型构造圈闭目前均已钻探, 而辽中凹陷西斜坡位于油气从辽中凹陷向辽西凸起运移的优势路径上, 且该斜坡带上发育大量地层圈闭和超覆圈闭, 均具有一定的勘探前景, 未来很可能成为辽东湾地区新的油气储量增长点。

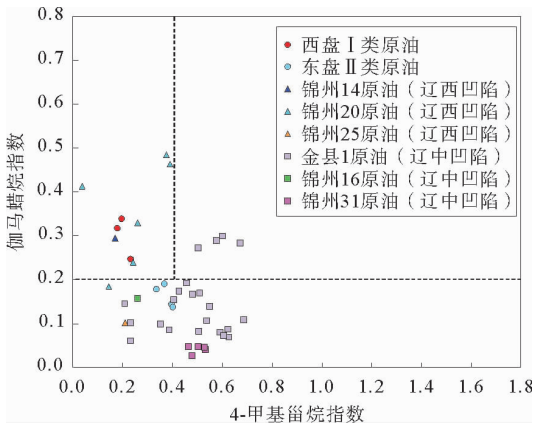


图 9 辽西凸起锦州 A 构造与典型油气田原油样品生物标志化合物参数对比

Fig. 9 Correlation diagram showing the biomarker parameters of crude oils from JZ-A structure on the Liaoxi Uplift and other oil and gas fields

## 5 结论

(1) 锦州 A 构造西盘为凝析原油, 东盘为轻质原油, 具有不同的物理性质, 原油饱和烃色谱完整, 未遭受明显生物降解。



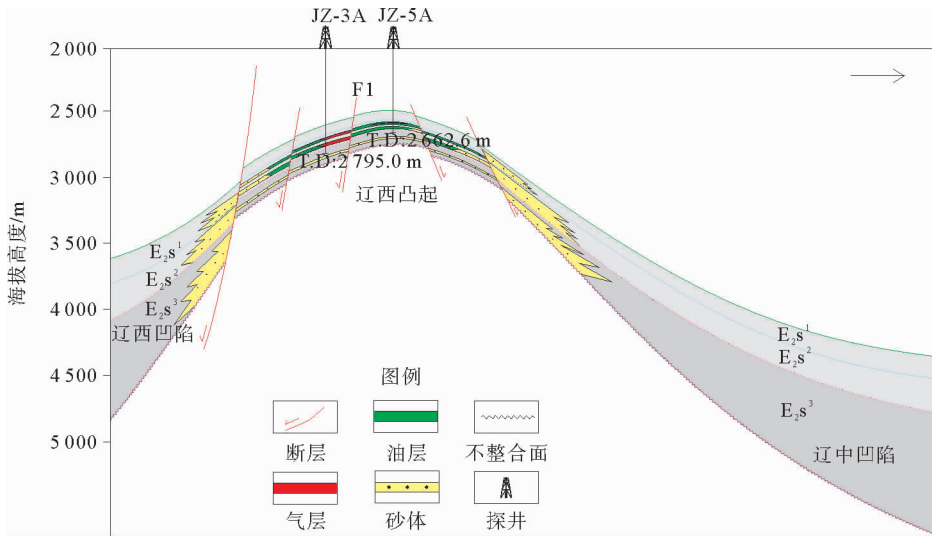


图 10 辽西凸起锦州 A 构造成藏模式(剖面位置见图 1 所示)

Fig. 10 Oil accumulation model of JZ-A structure on the Liaoxi Uplift (see Fig. 1 for profile location)

(2)油源母质为混合型,沉积环境为微咸水或咸水、弱还原—还原环境;西盘 I 类原油为低熟—成熟原油,东盘 II 类原油为成熟原油。

(3)通过与已发现典型油气田原油的生标特征进行对比,结合原油物性和地质背景分析认为,西盘 I 类原油主要来源于辽西凹陷沙一段烃源岩,东盘 II 类原油主要来源于辽中凹陷沙三段烃源岩。

#### 参考文献:

- [1] 李潍莲,刘震,刘俊榜,等.辽东湾地区辽西低凸起油气田成藏地质条件的差异[J].石油与天然气地质,2010,31(5):664-670.
- [2] 邓运华,彭文绪.渤海锦州 25-1S 混合花岗岩潜山大油气田的发现[J].中国海上油气,2009,21(3):145-156.
- [3] 周心怀,余一欣,魏刚,等.渤海辽东湾海域 JZ25-1S 转换带与油气成藏的关系[J].石油学报,2008,29(6):837-840.
- [4] 吕丁友,杨明慧,周心怀,等.辽东湾坳陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集[J].石油与天然气地质,2009,30(4):490-496.
- [5] 周心怀,刘震,李潍莲.辽东湾断陷油气成藏机理[M].北京:石油工业出版社,2009:1-245.
- [6] Tian D R, Xu C G, Wu K, et al. Charging of heavy oil fields surrounding the southern end of Liaoxi Uplift from multiple lacustrine source rock intervals and generative kitchens, Bohai Bay Basin, China [C]. Houston: AAPG Convension and Exhibition, 2017.
- [7] 田德瑞,吴奎,张如才,等.渤海湾盆地辽西凸起北段

锦州 20 油田原油地球化学特征及油源对比[J].石油实验地质,2018,40(3):410-417.

- [8] Tian D R, Xia Q L, Xue Y A, et al. Geochemical characteristics and application of sterane and terpane biomarkers in heavy oils from lacustrine source rocks of Liaodong Bay, Bohai Bay Basin, China [C]. Calgary: AAPG Convension and Exhibition, 2016.
- [9] Tian D R, Xu C G, Wu K, et al. Mechanisms of petroleum accumulation in the Liaodong Bay, Bohai Bay Basin, China: Origin and occurrence of crude oils [C]. Houston: AAPG Convension and Exhibition, 2017.
- [10] 田金强,邹华耀,周心怀,等.辽东湾地区烃源岩生物标志物特征与油源对比[J].中国石油大学学报(自然科学版),2011,35(4):53-58.
- [11] 夏庆龙,周心怀,薛永安,等.渤海海域油气藏形成分布与资源潜力[M].北京:石油工业出版社,2012:80-83.
- [12] Jiang F J, Pang X Q, Bai J, et al. Comprehensive assessment of source rocks in the Bohai Sea area, eastern China [J]. AAPG Bulletin, 2016, 100(6): 969-1002.
- [13] 庞雄奇,郭永华,姜福杰,等.渤海海域优质烃源岩及其分布预测[J].石油与天然气地质,2009,30(4):393-397.
- [14] 姜雪,邹华耀,庄新兵,等.辽东湾地区烃源岩特征及其主控因素[J].中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(2):31-38.
- [15] Peters K E, Kontorovich A E, Huizinga B J, et al. Multiple oil families in the West Siberian Basin [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(6): 893-909.
- [16] Peters K E, Snedden J W, Sulaeman A, et al. A new geochemical-sequence stratigraphic model for the Mahakam delta and Makassar slope, Kalimantan, Indonesia [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(1): 12-44.

- [17] Justwan H, Dahl B, Isaksen G H. Geochemical characterisation and genetic origin of oils and condensates in the South Viking Graben, Norway[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23(2): 213-239.
- [18] Peters K E, Ramos L S, Zumberge J E, et al. Circum-Arctic petroleum systems identified using decision-tree chemometrics [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(6): 877-913.
- [19] Hao F, Zhou X H, Zhu Y M, et al. Mechanisms for oil depletion and enrichment on the Shijiutuo uplift, Bohai Bay Basin, China[J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 93(8): 1015-1037.
- [20] Hao F, Zhou X H, Zhu Y M, et al. Charging of the Neogene Penglai 19-3 Field, Bohai Bay Basin, China; Oil accumulation in a young trap in an active fault zone[J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 93(2): 155-179.
- [21] Hao F, Zhou X H, Zhu Y M, et al. Charging of oil fields surrounding the Shaleitian uplift from multiple source rock intervals and generative kitchens, Bohai Bay Basin, China [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27(9): 1910-1926.
- [22] 侯读杰, 冯子辉. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011:85.
- [23] 赵阳, 姚涇利, 段毅, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组油源分析[J]. *沉积学报*, 2015, 33(5): 1023-1032.
- [24] Powell T G. Pristane/phytane ratio as environmental indicator [J]. *Nature*, 1988, 333(6174): 604.
- [25] Large D J, Gize A P. Pristane/phytane ratios in the mineralized kupferschiefer of the Fore-Sudetic Monocline, southwest Poland [J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11(s1/3): 89-103.
- [26] 潘文静, 王清斌, 刘士磊, 等. 渤海海域石臼坨地区古近系沙河街组湖相生屑白云岩成因[J]. *古地理学报*, 2017, 19(5): 835-848.
- [27] 董君妍, 陈世加, 邹贤利, 等. 鄂尔多斯盆地吴起—高桥地区延长组重排类藿烷分布特征及成因探讨[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(6): 834-841.
- [28] Chen J Y, Bi Y P, Zhang J G, et al. Oil-source correlation in the Fulin basin, Shengli petroleum province, East China [J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 24(8/9): 931-940.
- [29] Hao F, Zhou X H, Zhu Y M, et al. Mechanisms of petroleum accumulation in the Bozhong sub-basin, Bohai Bay basin, China. Part 1: origin and occurrence of crude oils [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2009, 26(8): 1528-1542.
- [30] 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): 1-23.
- [31] 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.
- [32] Sinninghe Damsté J S, Kenig F, Koopmans M P, et al. Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(9): 1895-1900.
- [33] Fu J M, Sheng G, Peng P A, et al. Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China [J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10(1/3): 119-126.
- [34] 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(8): 1255-1268.
- [35] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. *The Biomarker Guide, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 1155.
- [36] Fu J M, Sheng G, Xu J, et al. Application of biological markers in the assessment of paleoenvironments of Chinese nonmarine sediments [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(4/6): 769-779.
- [37] Ritts B D, Hanson A D, Zinniker D, et al. Lower-Middle Jurassic nonmarine source rocks and petroleum systems of the northern Qaidam basin, northwest China [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(12): 1980-2005.
- [38] 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(8): 1109-1128.
- [39] Manzi V, Roveri M, Gennari R, et al. The deepwater counterpart of the Messinian lower evaporites in the Apennine foredeep: the Fanantello section (Northern Apennines, Italy) [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 251(3): 470-499.
- [40] Zhu Y M, Weng H X, Su A G, et al. Geochemical characteristics of Tertiary saline lacustrine oils in the western Qaidam basin, northwest China[J]. *Applied Geochemistry*, 2005, 20(10): 1875-1889.
- [41] Palacas J G, Anders D E, King J D. Florida Basin—a prime example of carbonate source rocks of petroleum [M]//Palacas J G. *Petroleum Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks*. AAPG Studies in Geology, 1984, 18: 71-96.
- [42] Mrkić S, Stojanović K, Kostić A, et al. Organic geochemistry of miocene source rocks from the Banat depression (SE Pannonian Basin, Serbia) [J]. *Organic Geochemistry*, 2011, 42(6): 655-677.
- [43] 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成和运移 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 14-238.
- [44] Huang D F, Li J C, Zhang D J. Maturation sequence of

- continental crude oils in hydrocarbon basins in China and its significance [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(1/3): 521-529.
- [45] Chandra K, Mishra C S, Samanta U, et al. Correlation of different maturity parameters in the AhmedabadeMehsana block of the Cambay basin [J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 21(3/4): 313-321.
- [46] 林红梅. 渤海湾盆地车镇凹陷下古生界烃源岩生物标志物特征[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(2):230-237.
- [47] Huang W Y, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(5): 739-745.
- [48] Volkman J K, Barrett S M, Blackburn SI, et al. Microalgal biomarkers: a review of recent research developments [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(5/7): 1163-1179.
- [49] Hao F, Zhou X H, Zhu Y M, et al. Lacustrine source rock deposition in response to co-evolution of environments and organisms controlled by tectonic subsidence and climate, Bohai Bay Basin, China [J]. *Organic Geochemistry*, 2011, 42(4): 323-339.
- [50] 黄第藩, 李晋超, 张大江. 克拉玛依油田形成中石油运移的地球化学[J]. *中国科学(B辑)*, 1989, 37(2):199-206.

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND ORIGIN OF CRUDE OIL FROM JZ-A STRUCTURE ON THE LIAOXI UPLIFT, BOHAI SEA

TIAN Derui, NIU Chengmin, WANG Deying, PAN Wenjing, WANG Xiaoling

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** Geochemical analyses of crude oil samples from the 2nd Member of Shahejie Formation of the JZ-A structure on the Liaoxi Uplift were carried out, upon which physical properties, maturities and characteristics of biomarkers of the crude oil were studied. Comparison of geochemical characteristics of the crude oil is conducted for the oil and gas fields discovered in the Liaoxi and Lizhong depressions. The research results show that the crude oil in the western block is dominated by condensate oil with low wax and low sulfur, while the crude oil in the eastern block is characterized by light oil with high wax and low sulfur. The saturated hydrocarbon chromatograms of the crude oil from JZ-A structure show a complete distribution pattern, indicating a lack of biodegradation. The results also show that organic matters in the 2nd Member of Shahejie Formation came from a mixed source with minor terrigenous input of organic matter. Crude oils were formed in a reduction to weak reduction and brackish or saline water environment. Two source-related oil classes are identified by hierarchical cluster analysis according to the biomarkers of the crude oil from JZ-A structure. The Class I oil has higher gammacerane index, low-medium 4-methyl sterane indices(4-MSI), low hopane/sterane, high  $C_{27}/C_{29}$  sterane and high  $C_{28}/C_{29}$  sterane, which is most similar with the  $E_2s^1$  source rock of Liaoxi Depression. However, the Class II oil displays low-medium gammacerane index, medium-high 4-MSI, high hopane/sterane, medium  $C_{27}/C_{29}$  sterane and low  $C_{28}/C_{29}$  sterane, mostly similar with the  $E_2s^3$  source rock of Liaozhong Depression.

**Key words:** crude oil; biomarker; oil-source correlation; Liaoxi Uprift; Bohai Sea