

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

田德瑞, 吴奎, 张如才, 潘文静, 王鑫

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要: 辽西凸起是渤海海域辽东湾地区目前勘探程度最高的地区之一。通过对辽西凸起北段锦州 20 油田沙河街组和东营组原油地球化学分析, 明确了该区原油的物性、族组分、成熟度和生物标志化合物的特征, 在此基础上进行了油源对比研究。结果表明, 辽西凸起北段锦州 20 油田沙河街组和东营组的原油均属于低硫、轻质低成熟原油, 饱和烃色谱完整, 显示未遭受明显生物降解。原油母质为混合型, 并且沙河街组原油陆源有机质输入较少, 东营组原油陆源有机质输入较多, 原油母质形成于还原—弱还原条件下的微咸水或咸水沉积环境。沙河街组原油主要来源于辽西凹陷沙河街组三段和沙河街组一段烃源岩; 东营组原油具有双洼混源的特征, 主要来源于辽西凹陷沙河街组三段和辽中凹陷东营组三段烃源岩。

关键词: 饱和烃色谱; 原油; 生物标志物; 油源对比; 锦州 20 油田; 辽西凸起; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1⁺1

文献标识码: A

Geochemical features and oil-source correlation of crude oils from JZ20 oil field on the northern margin of Liaoxi Uplift, Bohai Bay Basin

TIAN Derui, WU Kui, ZHANG Rucui, PAN Wenjing, WANG Xin

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

Abstract: The Liaoxi Uplift is one of the regions with the highest level of exploration in the Liaodong Bay area of the Bohai Sea. Geochemical analyses were carried out on crude oil samples from the Shahejie and Dongying formations in the JZ20 oil field on the northern margin of Liaoxi Uplift. The physical properties, hydrocarbon group composition, maturity and biomarker characteristics of crude oil were studied, based on which an oil-source correlation was made. The crude oil is light with a low maturity and low sulfur content. The saturated hydrocarbon chromatograms of the oil are distributed fully, indicating no biodegradation. The organic matter source is mixed with a minor terrigenous input to the crude oil in the Shahejie Formation and a significant terrigenous organic matter input to the crude oil in the Dongying Formation. The source rock was deposited in an anoxic to suboxic and brackish or saline water environment. Crude oil of the Shahejie Formation originated from the third and the first members of Shahejie Formation in the Liaoxi Sag. Crude oil of the Dongying Formation originated from the third member of Shahejie Formation in the Liaoxi Sag and the third member of Dongying Formation in the Liaozhong Sag. In addition, crude oil of the Dongying Formation is characterized by a double-sag hybrid source hydrocarbon supply.

Key words: saturated hydrocarbon chromatogram; crude oil; biomarkers; oil-source correlation; JZ20 oil field; Liaoxi Uplift; Bohai Bay Basin

辽东湾坳陷是渤海湾盆地地下辽河坳陷在海域的延伸部分, 是一个 NE 走向的狭长构造带, 共划分为“三凹两凸”5 个次级构造单元(图 1), 自西向东依次为辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、辽东凸起和辽东凹陷, 各构造单元呈 NE-SW 向平行展布^[1]。

辽东湾坳陷的油气勘探始于 20 世纪 60 年代早期^[2-4], 截止到目前, 共发现三级石油地质储量超过 14 亿吨, 天然气 600 多亿方。随着勘探程度不断提高, 辽西凸起上的大部分构造圈闭均已钻探, 下一步的勘探方向需逐渐转向斜坡带和洼陷中心。

收稿日期: 2017-08-28; 修订日期: 2018-03-21。

作者简介: 田德瑞(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事油气成藏机理研究。E-mail: tiandr@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海辽东湾地区潜在富烃凹陷成藏研究与有利勘探方向预测”(2016ZX05024-002-006)资助。

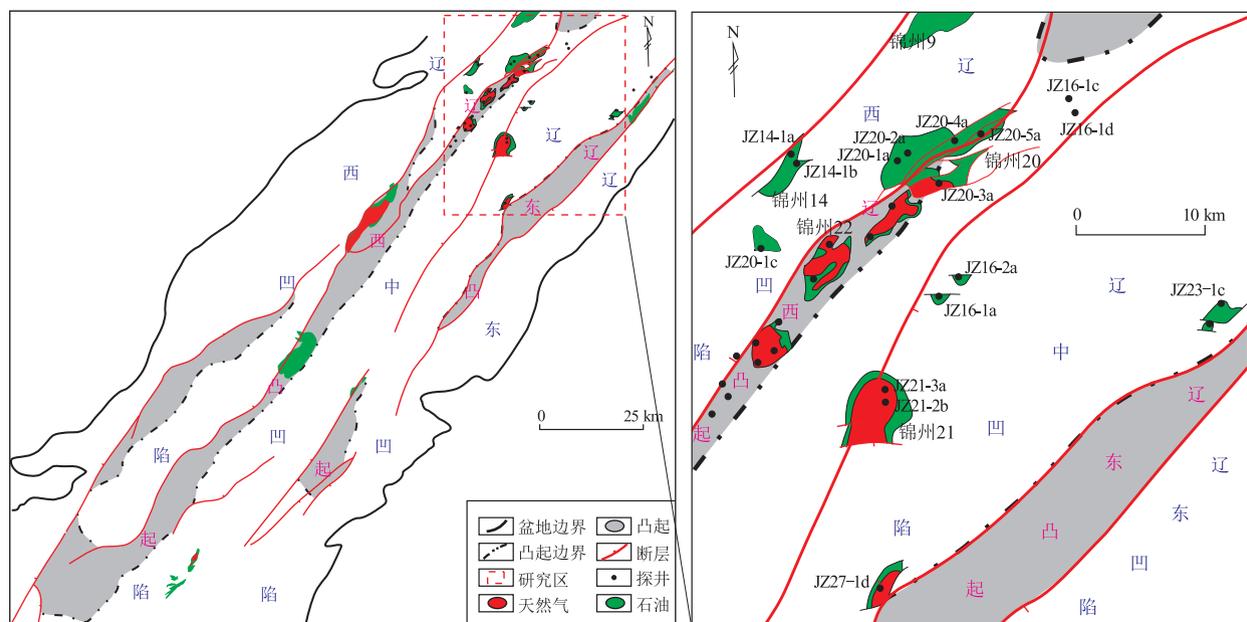


图1 渤海湾盆地辽西凸起北段锦州20油田区域位置

Fig.1 Regional location of the JZ20 oil field on the northern margin of Liaoxi Uplift, Bohai Bay Basin

近十年的油气勘探证实,辽西凹陷和辽中凹陷是2个富生烃凹陷。锦州20油田位于辽西凸起北倾末端,紧邻两大富烃凹陷,具有双洼供烃的优势。前人曾对辽东湾地区发育的烃源岩和主要油田的油源进行了大量分析^[5-6],但针对锦州20油田原油的地球化学特征的研究较少,且针对该油田的油源问题缺乏系统的研究,极大地制约着该区下一步的油气勘探进程。本文通过对锦州20油田已钻五口探井的原油地球化学特征分析,结合辽西凹陷和辽中凹陷沙河街组和东营组烃源岩的有机地球化学特征,分析了锦州20油田原油母质的形成环境和成熟度,进行油源对比,以期对辽西凸起北段及围区斜坡带的油气勘探提供参考。

1 区域地质背景

锦州20油田位于渤海湾盆地辽东湾坳陷辽西凸起北倾末端,是一个复杂的断块型圈闭,构造整体呈NE-SW走向。目前,锦州20油田已钻探五口探井,主要钻遇了古近系、新近系和第四系。古近系自下而上主要包括沙河街组三段、沙河街组二段、沙河街组一段、东营组三段、东营组二段下亚段、东营组二段上亚段和东营组一段。沙河街组三段主要为浅湖—半深湖相泥岩沉积,是辽东湾地区的主力烃源岩。沙河街组二段主要为扇三角洲相和湖相交互沉积,主要为砂岩夹泥岩和生屑灰岩,是主要的储集层。沙河街组一段以浅湖相泥岩沉

积为主,是该区发育的一套非常重要的烃源岩。东营组三段主要为浅湖—半深湖相泥岩沉积,也是本区的一套重要烃源岩^[7]。现今,锦州20油田的原油主要分布在古近系沙河街组二段中,此外在东营组二段下亚段也有少量分布。本区东营组发育大套湖相超压泥岩,分布广且厚度大,为油气的保存提供了较好的区域盖层。

2 原油地球化学特征

2.1 原油物性

锦州20油田的原油主要储层是沙河街组二段(以下简称沙二段),其中JZ20-3a井在东营组二段下亚段(以下简称东二下亚段)中也有少量原油分布。分析显示,原油密度为0.75~0.85 g/cm³、黏度为0.77~6.76 mPa·s,为轻质油;原油含硫量为0.01%~0.06%,为低硫原油。

2.2 原油族组成

原油的族组成与母质成因具有相关性^[8-9],不同类型烃源岩生成的原油具有不同的族组成。锦州20油田沙二段(Es²)原油具有饱和烃含量相对较高、非烃和沥青质的含量较低的特征(表1)。其中,JZ20-2a、JZ20-3a和JZ20-4a三口井饱和烃含量均大于70.0%,非烃和沥青质含量约为5.5%~11.97%;JZ20-1a饱和烃含量略低,为59.29%,芳烃含量19.76%,非烃和沥青质含量为18.81%。由原油族组成特征分析认为,沙二段原油具有相似的母质来源。

表 1 辽西凸起锦州 20 油田原油族组分数据
Table 1 Group composition data of crude oil in JZ20 oil field, Liaoxi Uplift

井号	层位	深度/m	组分/%			
			饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
JZ20-1a	Es ²	3 241.0	59.29	19.76	12.38	6.43
JZ20-2a	Es ²	3 305.3	72.50	9.00	4.25	1.25
JZ20-3a	Ed ^{2F}	2 075.0	71.43	13.81	11.19	2.86
JZ20-3a	Es ²	2 969.0	75.06	13.47	8.73	3.24
JZ20-4a	Es ²	3 336.0	70.20	11.18	6.86	1.57

2.3 原油生物标志化合物

2.3.1 链烷烃

根据锦州 20 油田原油中类异戊二烯烷烃之间的相对丰度分析显示,姥鲛烷略占优势,植烷含量相对较低。姥鲛烷/植烷值 (Pr/Ph) 是判断有机质来源和沉积环境最常用的参数之一^[10-14],可应用于油源对比研究。前人通过对渤海海域的研究认为低 Pr/Ph (小于 1) 指示缺氧环境,通常为高盐度或者碳酸盐岩沉积环境;高 Pr/Ph (大于 3) 指示有陆源有机质输入的富氧环境,Pr/Ph 介于 1 和 3 之间指示低氧环境^[15-17]。锦州 20 油田原油 Pr/Ph 值介于 1.0~1.5 之间(表 2),姥鲛烷和植烷的分布差异较小,以姥鲛烷略占优势为特征,指示生油母质形成于还原—弱还原的低氧沉积环境。原油中的 Pr/nC₁₇ 值和 Ph/nC₁₈ 值常用来研究生烃母质类型、烃源岩沉积环境和原油成熟度^[18-20]。Pr/nC₁₇ 与 Ph/nC₁₈ 交会图也反映出锦州 20 油田的原油母质来源相似,均为混合型(图 2)。

锦州 20 油田原油的饱和烃色谱特征差异较小,均呈单峰正态分布,峰型完整,以 C₁₇-C₂₃ 为主峰,说明有机质母质类型以低等水生生物为主,且原油未遭受明显生物降解。正构烷烃奇偶优势不明显,CPI 值在 1.10~1.14,OEP 值在 1.08~1.09(表 2)。

2.3.2 萜烷类化合物

锦州 20 油田沙二段原油伽马蜡烷指数均较高,分布于 0.32~0.46,而东二下亚段(Ed^{2F})原油伽马蜡烷指数仅为 0.11(表 3),说明形成沙二段和东二下亚段原油的有机质沉积环境不同。大量的

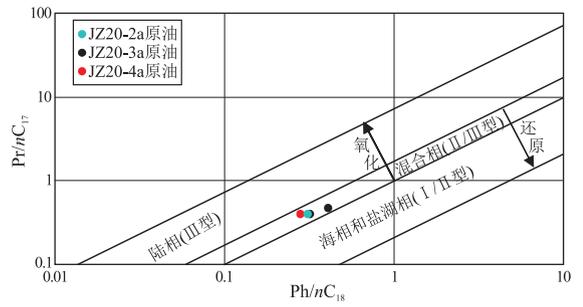


图 2 辽西凸起锦州 20 油田原油中 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 值相关图
图版引自文献[20]。

Fig.2 Correlation between Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ of crude oil in JZ20 oil field, Liaoxi Uplift

伽马蜡烷常常指示烃源岩沉积时分层水体的存在^[21],一般为高盐度分层水体的表征^[15,22-26]。伽马蜡烷指数的差异反映了生成沙二段原油的烃源岩形成于半咸水—咸水环境,而东二下亚段原油的烃源岩为淡水环境。此外,根据前人对辽东湾地区烃源岩的研究^[5],长链三环萜烷比值(ETR)在湖泊沉积环境中可以作为反映沉积介质条件的有效指标。沙二段原油 ETR 分布于 0.37~0.55,平均为 0.48,东二下亚段原油 ETR 较低(0.25),反映沙二段原油的生烃母质为半咸水—咸水环境;而东二下原油的生烃母质为淡水环境,这与伽马蜡烷指数所反映的烃源岩水体环境是一致的。

沙二段原油的 Ts/Tm 分布于 1.24~1.72,平均为 1.51,东二下亚段原油 Ts/Tm 为 1.0(表 3),说明沙二段原油成熟度略高。沙二段原油 C₁₉/C₂₃ 三环萜烷(C₁₉TT/C₂₃TT)和 C₂₄ 四环萜烷/C₂₆ 三环萜烷(C₂₄Tet/C₂₆TT)含量总体较低,分别为 0.09~0.20 和 0.35~0.45,而东二下亚段原油 C₁₉TT/C₂₃TT 和 C₂₄Tet/C₂₆TT 含量较高,分别为 0.30 和 2.81(表 3),说明东二下亚段原油的生烃母质具有相对较多的陆源有机质的贡献,两者可能具有不同的物质来源。

2.3.3 甾烷类化合物

前人研究证实,甾烷异构化参数可以用来反映原油的成熟度^[22,27-30]。黄第藩等^[31]研究认为,C₂₉20S/(20S+20R)和 C₂₉ββ/(αα+ββ)在 0.25 以下为未熟油,0.25~0.4 为低熟油,大于 0.4 为成熟油。

表 2 辽西凸起锦州 20 油田原油全烃气相色谱数据
Table 2 Gas chromatography data of crude oil in JZ20 oil field, Liaoxi Uplift

井号	层位	深度/m	主峰碳	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	CPI	OEP	ΣC ₂₁ -/ΣC ₂₂₊	(C ₂₁ +C ₂₂)/(C ₂₈ +C ₂₉)
JZ20-2a	Es ²	3 305.3	19	1.30	0.40	0.31	1.10	1.09	0.84	1.80
JZ20-3a	Ed ^{2F}	2 075.0	19	1.13	0.47	0.41	1.13	1.09	1.09	2.32
JZ20-3a	Es ²	2 969.0	23	1.00	0.40	0.32	1.10	1.09	0.57	1.86
JZ20-4a	Es ²	3 336.0	17	1.50	0.40	0.28	1.14	1.08	1.37	3.15

表3 辽西凸起锦州20油田原油及辽东湾地区不同层位烃源岩地球化学参数
Table 3 Geochemical parameters of crude oil in JZ20 oil field in Liaoxi Uplift and source rocks in different layers in the Liaodong Bay area

井号	井段/m	层位	样品类型	C ₁₉ TT/ C ₂₃ TT	C ₂₄ Tet/ C ₂₆ TT	Ga/ C ₃₀ H	Ts/ Tm	ETR	C ₂₉ 20S/ (20S+20R)	C ₂₉ ββ/ (αα+ββ)	C ₂₉ ββR/ ααR	C ₂₉ ααS/ R	4- MSI	规则甾烷/%		
														C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉
JZ20-1a	3 241.0	Es ²	原油	0.09	0.35	0.46	1.24	0.55	0.34	0.37	0.51	0.53	0.39	33.12	29.07	37.80
JZ20-2a	3 305.3	Es ²	原油	0.19	0.45	0.33	1.69	0.37	0.36	0.39	0.60	0.55	0.26	38.15	25.86	35.99
JZ20-3a	2 969.0	Es ²	原油	0.16	0.45	0.32	1.37	0.51	0.36	0.39	0.52	0.57	0.23	38.12	30.34	31.54
JZ20-5a	3 140.0	Es ²	原油	0.20	0.36	0.41	1.72	0.48	0.35	0.37	0.53	0.55	0.28	36.64	25.54	37.82
JZ20-3a	2 075.0	Ed ² _F	原油	0.30	2.81	0.11	1.00	0.25	0.26	0.35	0.46	0.35	0.20	42.26	25.91	31.83
JZ20-1a	3 185.0	Es ¹	岩屑	0.06	0.44	0.68	0.93	0.56	0.36	0.38	0.48	0.57	0.31	33.42	30.19	36.39
JZ14-1a	2 495.0	Es ¹	岩屑	0.00	0.61	0.77	0.26	0.62	0.12	0.20	0.28	0.13	0.24	36.13	39.43	24.44
JZ20-2a	3 580.0	Es ³	岩屑	0.18	0.65	0.32	1.23	0.43	0.38	0.38	0.59	0.62	0.21	37.75	26.54	35.71
JZ20-2a	3 640.0	Es ³	岩屑	0.50	0.70	0.36	5.51	0.24	0.38	0.46	0.82	0.61	0.23	47.82	19.30	32.88
JZ20-1a	3 370.0	Es ³	岩屑	0.25	0.80	0.33	1.06	0.42	0.35	0.37	0.50	0.53	0.25	38.16	26.59	35.25
JZ20-1a	3 450.0	Es ³	岩屑	0.24	0.63	0.48	1.31	0.44	0.35	0.40	0.56	0.55	0.26	39.22	25.92	34.86
JZ14-1a	2 715.0	Es ³	岩屑	0.15	0.88	0.15	0.74	0.29	0.11	0.26	0.40	0.12	0.21	36.78	29.72	33.50
JZ23-1c	2 755.0	Ed ³	岩屑	0.50	2.00	0.03	0.45	0.14	0.19	0.06	0.00	0.23	0.07	35.29	11.65	53.07
JZ23-1c	3 285.0	Ed ³	岩屑	0.40	2.34	0.05	0.41	0.25	0.40	0.29	0.43	0.68	0.12	28.55	11.72	59.73
JZ23-1c	3 425.0	Ed ³	岩屑	0.56	3.12	0.03	1.65	0.08	0.47	0.42	0.76	0.90	0.15	23.64	9.69	66.67
JZ23-1c	3 605.0	Es ¹	岩屑	0.42	2.30	0.03	2.41	0.22	0.52	0.45	0.88	1.07	0.15	23.72	9.74	66.54
JZ23-1c	3 655.0	Es ¹	岩屑	0.35	2.50	0.03	2.49	0.22	0.53	0.47	0.93	1.12	0.14	18.94	9.60	71.46
JZ27-1d	2 495.0	Es ³	岩屑	0.45	0.47	0.22	0.75	0.52	0.19	0.35	0.47	0.24	0.15	38.87	21.52	39.61
JZ27-1d	2 792.5	Es ³	岩屑	0.07	0.64	0.23	0.78	0.49	0.24	0.37	0.53	0.32	0.19	37.79	23.91	38.30

注:TT.三环萜烷;Tet.四环萜烷;Ga/C₃₀H.伽马蜡烷/αβC₃₀霍烷;4-MSI.4-甲基甾烷/C₂₉甾烷;ETR.长链三环萜烷比值。

锦州20油田原油 C₂₉20S/(20S+20R)为0.26~0.36, C₂₉ββ/(αα+ββ)为0.35~0.39,均属于低成熟原油(图3),且东二下亚段原油成熟度低于沙二段原油(表3)。

沙二段和东二下亚段原油规则甾烷差异不大,总体上以 C₂₇占优势为特征,C₂₈和 C₂₉含量相对较少,其形态呈L形或不对称V形分布,说明有机质母源以浮游植物为主,同时存在高等植物的贡献^[32-33](表3,图4)。

根据前人对渤海湾盆地的研究,4-甲基甾烷

与渤海藻和副渤海藻等沟鞭藻类的勃发有关^[12]。锦州20油田原油均含有一定数量的4-甲基甾烷,沙二段原油的4-甲基甾烷指数(0.23~0.39)略高于东二下亚段原油(0.20),反映沙二段原油的原始沉积母质具有相对较多的沟鞭藻类的贡献(表3)。

黄第藩等^[31,34]曾利用 C₂₉甾烷研究油气运移现象,由于异胆甾烷(C₂₉ββR)的运移能力高于正常胆甾烷(C₂₉ααR),故随着运移效应的增加,C₂₉ββR/ααR比值会显著增加。研究区锦州20油田原油的 C₂₉ααS/R和 C₂₉ββR/ααR分别为0.35~0.57和0.46~0.60(表3),还远远未达到异构化的终点(图5),没有表现出明显的运移效应,推测锦州20油田原油应该来源于围区附近烃源岩的贡献。

3 油源分析

3.1 烃源岩地球化学特征

根据前人对辽东湾地区已发现油气田的油气来源分析表明,辽西凹陷主要发育沙三段和沙一段2套烃源岩,辽中凹陷发育沙三段、沙一段和东三段3套烃源岩^[5-6,35-36]。

辽东湾地区3套烃源岩的有机质丰度(TOC)、生烃潜力(S₁+S₂)和氢指数(I_H)差异较大,体现了烃源岩时空分布具有较强的非均质性^[37-38]。通过对辽东湾地区1000多个烃源岩样品热解分析结果的

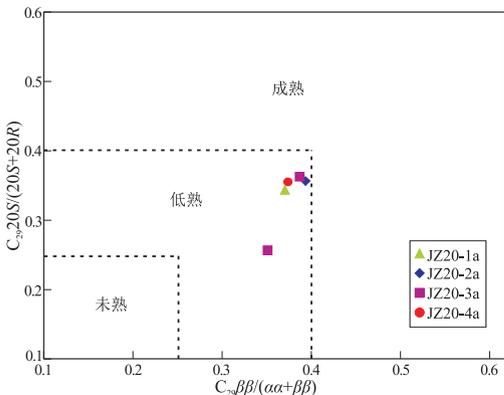


图3 辽西凸起锦州20油田原油中 C₂₉ 20S/(20S+20R) 甾烷与 C₂₉ββ/(αα+ββ) 甾烷值相关图

Fig.3 Correlation of C₂₉ 20S/(20S+20R) vs. C₂₉ββ/(αα+ββ) ratios of crude oil in JZ20 oil field, Liaoxi Uplift

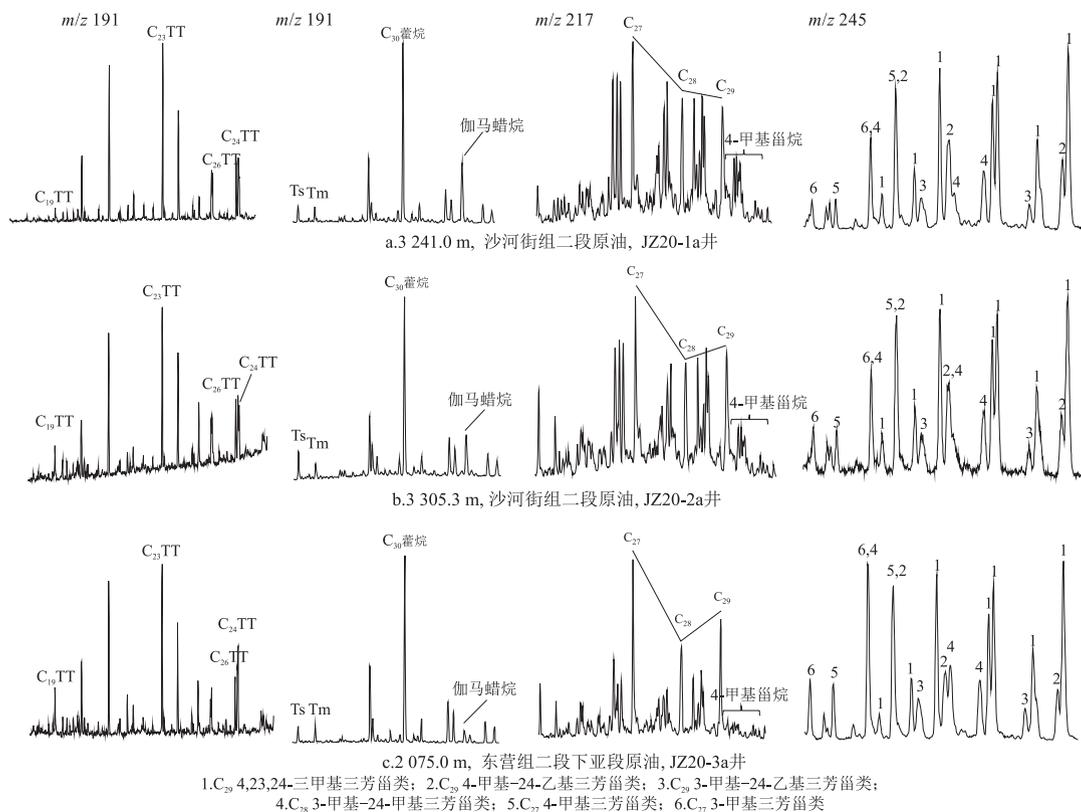


图 4 辽西凸起锦州 20 油田原油 $m/z191, m/z217$ 和 $m/z245$ 质量色谱特征

Fig.4 Mass chromatogram of $m/z191, m/z217$ and $m/z245$ of crude oil in JZ20 oil field, Liaoxi Uplift

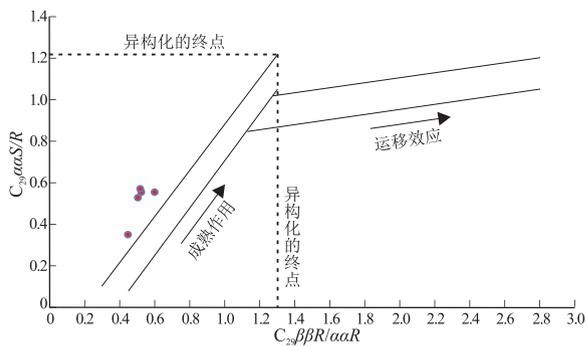


图 5 辽西凸起锦州 20 油田原油中 $C_{29}\alpha S/R$ 甾烷与 $C_{29}\beta R/\alpha R$ 甾烷值相关图

Fig.5 Correlation of $C_{29}\alpha S/R$ vs. $C_{29}\beta R/\alpha R$ ratios of crude oil in JZ20 oil field, Liaoxi Uplift

统计可知(表 4),沙三段 TOC 平均为 1.79%,最大可达 8.88%,生烃潜力平均为 8.52 mg/g;沙一段 TOC 平均为 1.85%,最大可达 5.62%,生烃潜力平均为 9.90 mg/g;东三段 TOC 平均为 1.53%,最大可达 4.74%,生烃潜力平均为 5.84 mg/g。沙三段和沙一段以好烃源岩为主,有机碳含量整体较高;东三段以中等—好烃源岩为主,有机碳含量较沙三段和沙一段略低(图 6)。

已有研究表明^[6,39],辽东湾地区烃源岩干酪根总体以 II 型为主,其中沙三段主要为 II 型,少量 I 型和 III 型,沙一段以 I 和 II 型为主,东三段以 II 和

表 4 辽东湾地区烃源岩评价数据

Table 4 Evaluation of source rocks in the Liaodong Bay area

层位	$w(\text{TOC})/\%$	$(S_1+S_2)/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$I_{\text{H}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	评价
Ed ³	0.41~4.74	0.38~34.19	42.70~792.54	中等—好
	1.53(518)	5.84(518)	308(518)	
Es ¹	0.11~5.62	0.02~44.01	17~1237	好
	1.85(265)	9.90(265)	426.36(265)	
Es ³	0.13~8.88	0.07~58.47	18.18~897.14	好
	1.79(301)	8.52(301)	372.72(301)	

注:数值分别为测量值范围和平均值,括号内为样本个数。

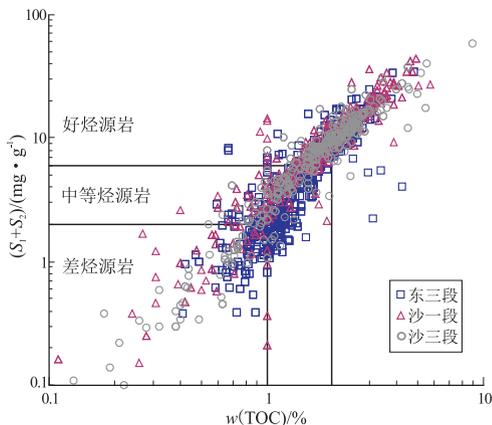


图 6 辽东湾地区烃源岩有机质丰度与生烃潜力的关系 Fig.6 Relationship between organic carbon abundance and hydrocarbon potential of source rocks in the Liaodong Bay area

III型为主。

由于烃源岩母质类型和沉积环境的不同,3套烃源岩具有各自不同的生物标志物组合^[5,39-40]。沙三段烃源岩总体表现为低—中等 Pr/Ph,低—中等 $C_{19}TT/C_{23}TT$ 和 $C_{24}Tet/C_{26}TT$ 、低伽马蜡烷指数和高4-甲基甾烷指数,指示陆源有机质输入较少、富沟鞭藻和弱氧化—弱还原的淡水沉积环境(图7a)。沙一段烃源岩总体表现为低 Pr/Ph,低 $C_{19}TT/C_{23}TT$ 和 $C_{24}Tet/C_{26}TT$,高伽马蜡烷指数和低—中等4-甲基甾烷指数,指示陆源有机质输入较少、低—中等沟鞭藻和还原的咸水沉积环境(图7b)。东三段烃源岩总体表现为低—中等 Pr/Ph,

中等—高 $C_{19}TT/C_{23}TT$ 和 $C_{24}Tet/C_{26}TT$,低伽马蜡烷指数和低4-甲基甾烷指数,指示陆源有机质输入较多、贫沟鞭藻和弱氧化—弱还原的淡水沉积环境(图7c)。

3.2 油源对比

根据饱和烃和芳烃色谱质谱分析结果,锦州20油田沙二段原油表现为低 $C_{19}TT/C_{23}TT$ 、低—中等 $C_{24}Tet/C_{26}TT$ 、中等伽马蜡烷、中等—高4-甲基甾烷、中等 C_{29} 4-甲基-24-乙基三芳甾烷和中等—高 C_{29} 4,23,24 三甲基三芳甾烷(表3,图7)。从原油与烃源岩的生物标志化合物参数对比(图8)中可以看出,沙二段原油与辽西凹陷沙三段和沙一段

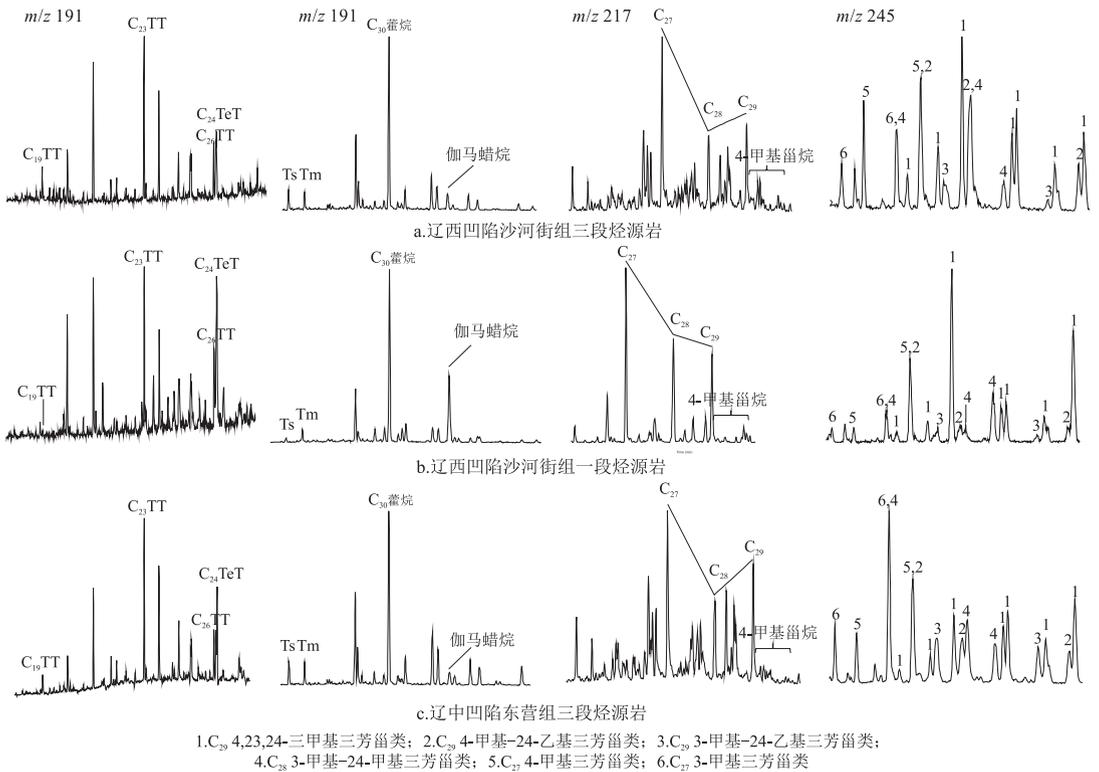


图7 辽东湾地区不同层位烃源岩 $m/z191$ 、 $m/z217$ 和 $m/z245$ 质量色谱特征

Fig.7 Mass chromatogram of $m/z191$, $m/z217$ and $m/z245$ of source rocks in different layers in the Liaodong Bay area

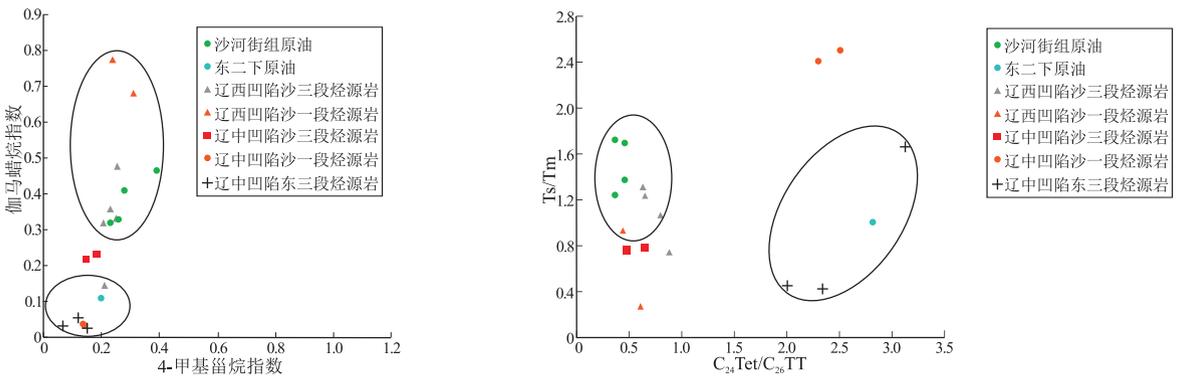


图8 辽西凸起锦州20油田原油与不同层位烃源岩生物标志化合物参数相关图

Fig.8 Correlation of biomarker parameter between crude oils in JZ20 oil field and source rocks in different layers in the Liaoxi Uplift

烃源岩具有很好的相关性,而与辽中凹陷东三段烃源岩对比性较差。东二下亚段原油表现为中等 $C_{19}TT/C_{23}TT$ 、高 $C_{24}Tet/C_{26}TT$ 、低伽马蜡烷、低—中等 4-甲基甾烷、低 $C_{29}4$ -甲基-24-乙基三芳甾烷和中等—高 $C_{29}4, 23, 24$ 三甲基三芳甾烷(表 3,图 7),具有辽西凹陷沙三段和辽中凹陷东三段烃源岩混合供烃的特征(图 8)。

4 结论

(1) 锦州 20 油田原油属于低硫、轻质低成熟原油,未遭受明显生物降解。

(2) 生成原油的烃源岩主要形成于还原—弱还原条件下的微咸水—咸水环境,沙河街组原油母质陆源有机质输入较少,东营组原油母质陆源有机质输入较多。

(3) 锦州 20 油田沙二段原油主要来源于辽西凹陷沙三段和沙一段烃源岩的贡献。东二下亚段原油具有双洼混源的特征,除来源于辽西凹陷沙三段烃源岩外,还有辽中凹陷东三段烃源岩的贡献。

参考文献:

- [1] 周心怀,刘震,李维莲.辽东湾断陷油气成藏机理[M].北京:石油工业出版社,2009.
ZHOU Xinhui,LIU Zhen,LI Weilian.Mechanisms of oil and gas accumulation in Liaodongwan sub-basin[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2009.
- [2] 龚再升.中国近海大油气田[M].北京:石油工业出版社,1997:396.
GONG Zaisheng.The major oil and gas fields of China offshore[M].Beijing:Petroleum Industry Press,1997:396.
- [3] 龚再升,王国纯,贺清.上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域[J].中国海上油气(地质),2000,14(3):145-156.
GONG Zaisheng,WANG Guochun,HE Qing.The Neogene: A main realm of hydrocarbon exploration in Bozhong Sag and its surrounding areas[J].China Offshore Oil and Gas (Geology),2000,14(3):145-156.
- [4] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J].地球科学(中国地质大学学报),2004,29(5):513-517.
GONG Zaisheng.Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese basins[J].Earth Science (Journal of China University of Geosciences),2004,29(5):513-517.
- [5] 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.
TIAN Jinqiang,ZOU Huayao,ZHOU Xinhui,et al.Biomarker characteristics of source rocks and oil-source correlation in Liaodong Bay[J].Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2011,35(4):53-58.
- [6] 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):31-37.
JIANG Xue,ZOU Huayao,ZHUANG Xinbing,et al.Characteristics of hydrocarbon source rocks in Liaodong Bay area and its main controlling factors[J].Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2010,34(2):31-37.
- [7] 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.
XIA Qinglong,ZHOU Xinhui,XUE Yong'an.Formation,distribution and resource potential of oil and gas reservoirs in Bohai Sea[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2012:80-83.
- [8] 母国妍,钟宁宁,刘宝.辽河断陷西部凹陷原油地球化学特征及其成因类型[J].石油实验地质,2008,30(6):611-616.
MU Guoyan,ZHONG Ningning,LIU Bao.The geochemical characteristic and genetic type of crude oil in the western sag of the Liaohe Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2008,30(6):611-616.
- [9] 梅博文,刘希江.我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J].石油与天然气地质,1980,1(2):99-115.
MEI Bowen,LIU Xijiang.The distribution of isoprenoid alkanes in China's crude oil and its relation with the geologic environment[J].Oil & Gas Geology,1980,1(2):99-115.
- [10] DIDYK B M,SIMONEIT B R T,BRASSELL S C,et al.Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation[J].Nature,1978,272(5650):216-222.
- [11] POWELL T G.Pristane/phytane ratio as environmental indicator[J].Nature,1988,333(6174):604.
- [12] CHANDRA K,MISHRA C S,SAMANTA U,et al.Correlation of different maturity parameters in the Ahmedabad-Mehsana block of the Cambay Basin[J].Organic Geochemistry,1994,21(3/4):313-321.
- [13] 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(1/3):89-103.
- [14] 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.
PAN Wenjing,WANG Qingbin,LIU Shilei,et al.Origin of lacustrine bioclastic dolostone in the Paleogene Shahejie Formation: A case study in Shijiuotuo area,Bohai Sea[J].Journal of Palaeogeography,2017,19(5):835-848.
- [15] CHEN Jianyu,BI Yanpong,ZHANG Jiguo,et al.Oil-source correlation in the Fulin Basin,Shengli petroleum province,East China[J].Organic Geochemistry,1996,24(8/9):931-940.
- [16] HAO Fang,ZHOU Xinhui,ZHU Yangming,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.
- [17] 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.
DONG Junyan,CHEN Shijia,ZOU Xianli,et al.Distribution and origin of rearranged hopanes in Yanchang Formation, Wuqi -

- Gaoqiao area, Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(6): 834-841.
- [18] 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.
- [19] 约翰斯. 沉积记录中的生物标志物 [M]. 王铁冠, 译. 北京: 科学出版社, 1991: 16-18.
- JOHNS R B. Biomarkers in the sedimentary record [M]. WANG Tieguan, Trans. Beijing: Science Press, 1991: 16-18.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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, 2: 1155.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] MANZI V, ROVERI M, GENNARI R, et al. The deep-water counterpart of the Messinian lower evaporites in the Apennine foredeep: The Fananello section (Northern Apennines, Italy) [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 251(3/4): 470-499.
- [26] ZHU Yangming, WENG Huanxin, SU Aiguo, et al. Geochemical characteristics of Tertiary saline lacustrine oils in the western Qaidam Basin, Northwest China [J]. *Applied Geochemistry*, 2005, 20(10): 1875-1889.
- [27] JUSTWAN H, DAHL B, ISAKSEN G H. Geochemical characterization and genetic origin of oils and condensates in the South Viking Graben, Norway [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23(2): 213-239.
- [28] 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.
- [29] 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.
- CHEN Jianping, HUANG Difan, CHEN Jianjun, et al. Oil and gas generation and migration in Jiudong Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 14-238.
- [30] 张宝收, 李美俊, 赵青, 等. 原油中 C_{26} - C_{28} 三芳甾烷相对含量计算方法及其应用 [J]. *石油实验地质*, 2016, 38(5): 692-697.
- ZHANG Baoshou, LI Meijun, ZHAO Qing, et al. Determining the relative abundance of C_{26} - C_{28} triaromatic steroids in crude oils and its application in petroleum geochemistry [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016, 38(5): 692-697.
- [31] HUANG Difan, LI Jinchao, ZHANG Dajiang. Maturation sequence of continental crude oils in hydrocarbon basins in China and its significance [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(1/3): 521-529.
- [32] VOLKMA N J K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter [J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 9(2): 83-99.
- [33] 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.
- LIN Hongmei. Biomarker characteristics of Lower Paleozoic source rocks in Chechen Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(2): 230-237.
- [34] 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, 32(2): 199-206.
- HUANG Difan, LI Jinchao, ZHANG Dajiang. Geochemistry of petroleum migration during the formation of Karamay oil field [J]. *Science China (Series B)*, 1990, 33(1): 87-97.
- [35] 徐长贵, 王冰洁, 王飞龙, 等. 辽东湾拗陷新近系特稠油成藏模式与成藏过程: 以旅大 5-2 北油田为例 [J]. *石油学报*, 2016, 37(5): 599-609.
- XU Changgui, WANG Bingjie, WANG Feilong, et al. Neogene extra heavy oil accumulation model and process in Liaodong Bay Depression: A case study of Lvda 5-2 N oilfield [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2016, 37(5): 599-609.
- [36] TIAN Derui, XU Changgui, WU Kui, 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/OL]. AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, April 2-5, 2017. <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2017/90291ace/abstracts/2611156.html>.
- [37] KEYM M, DIECKMANN V, HORSFIELD B, et al. Source rock heterogeneity of the Upper Jurassic Draupne Formation, North Viking Graben, and its relevance to petroleum generation studies [J]. *Organic Geochemistry*, 2006, 37(2): 220-243.
- [38] CURIALE J A. Oil-source rock correlations: Limitations and recommendations [J]. *Organic Geochemistry*, 2008, 39(8): 1150-1161.
- [39] TIAN Derui, XIA Qinglong, XUE Yong'an, 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/OL]. AAPG Annual Convention and Exhibition, Calgary, Alberta, Canada, June 19-22, 2016. <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2016/90259ace/abstracts/2379106.html>.
- [40] TIAN Derui, XU Changgui, WU Kui, et al. Mechanisms of petroleum accumulation in the Liaodong Bay, Bohai Bay Basin, China: Origin and occurrence of crude oils [C/OL]. AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, April 2-5, 2017. <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2017/90291ace/abstracts/2611168.html>.