

渤海海域沙西北地区潜山油源及成藏特征

王奇^{1,2},郝芳^{1,2},徐长贵³,韦阿娟³,孙中恒⁴,操义军⁴,邹华耀⁴

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东青岛266580; 2. 海洋国家实验室海洋矿物资源评价与探测技术功能实验室,山东青岛266071; 3. 中国海洋石油有限公司天津分公司,天津300452; 4. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京102249]

摘要:综合地质与地球化学方法,探讨了渤海海域沙西北地区潜山的油气来源及成藏特征。生物标志物参数表明沙西北地区已发现的原油位于沙河街组。曹妃甸2-1油田的潜山储层岩性为碳酸盐岩,潜山的原油具有高的伽马蜡烷指数(G/H)以及相对低4-甲基甾烷参数(4MSI),具有相对轻的正构烷烃碳同位素值(整体轻于-29‰),主要为沙河街组一段(沙一段)的油源。曹妃甸1-6油田为花岗岩潜山储层,潜山的原油具有相对高的4MSI(>0.4),正构烷烃的碳同位素值偏重(重于-29‰),可能指示着以沙三为主的油源。曹妃甸2-1潜山直接披覆沙一段,沙一段源岩生成的原油可近距离充注至潜山储层中,为披覆式的源储对接成藏模式。曹妃甸1-6油田上覆为东营组,其丰度与热演化程度低,主要作盖层。歧口凹陷的原油侧向通过砂体运移侧向充注至曹妃甸1-6潜山圈闭中,表现为侧向砂体输导油气成藏特征。通过岩心观察和铸体薄片实验分析了CFD2-1-2井潜山风化壳结构特征,揭示了沙西北地区潜山风化壳结构可能不具备侧向长距离输导油气的能力,与潜山直接披覆接触的有效烃源岩或者发育沟通源储的砂体是潜山油气成藏的基础。

关键词:油源;成藏模式;潜山;沙西北地区;渤海海域

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Origin and accumulation characterization of petroleum in buried hill reservoirs in Shaxibei area, Bohai Sea

Wang Qi^{1,2}, Hao Fang^{1,2}, Xu Changgui³, Wei Ajuan³, Sun Zhongheng⁴, Cao Yijun⁴, Zou Huayao⁴

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China; 4. State Key laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: The study discussed the origin and accumulation characteristics of hydrocarbon in buried hills in Shaxibei area, Bohai Sea, through geological and geochemical research methods. Analysis of biomarker parameters reveals that the proved buried hill oil samples in Shaxibei area originate from the Shahejie Formation source rocks. Oil samples from the CFD2-1 buried hill carbonate reservoir have a high G/H index and relatively low 4MSI, and are characterized by depleted ¹³C for n-alkanes (less than -29‰ as a whole). Such characteristics may be an indicator of the oil origin from the Es¹ source rocks. Oil samples, taken from the granite reservoir of the CFD1-6 oil fields, are typified by relatively higher 4MSI (more than 0.4) and heavier carbon isotope of n-alkanes (more than -29‰), which may indicate that CFD1-6 buried hill oil is dominated by the Es³-derived oil. The CFD2-1 buried hill is overlain by the Es¹ formation unit, and the mature Es¹ source rock may supply adequate petroleum for charging the carbonate reservoirs without long migration distance. This accumulation model can be referred to as the assemblage of generation from the draped source rock and vertically charging to the underlying carbonate reservoir. CFD1-6 granite buried hill is covered by the Ed shale, being characterized by low organic matter abundance and thermal maturity, which can be served as a seal for oil accumulation.

收稿日期:2016-06-20;修订日期:2018-01-05。

第一作者简介:王奇(1986—),男,博士,油气藏形成机理与分布规律。E-mail:wangqi@upc.edu.cn。

通讯作者简介:邹华耀(1963—),男,教授,油气藏形成机理与分布规律;E-mail:huayaozou@cup.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05024-003-008);中国博士后科学基金项目(2018M630810)。

Oil generated from the source rock in the Qikou Sag can be transported through the laterally distributed sand body and charge the CFD1 – 6 buried hill traps, exemplifying a hydrocarbon accumulation model of migration through lateral sand body. On the basis of core observation and casting thin section experiments, we analyzed the textural characteristics of weathered crust from Well CFD2 – 1 – 2. The results show that the weathered crust structure in Shaxibei area may not be able to receive the laterally transporting petroleum from sags to buried hill traps, while the overlying effective source rocks on the surface of buried hills or the occurrence of sand bodies communicating source and reservoir are fundamental for hydrocarbon accumulation in buried hills.

Key words: oil kitchen, accumulation model, buried hill, Shaxibei area, Bohai Sea

渤海海域指渤海湾盆地现今的海域部分(图1), 现今已发现的原油主要赋存于古近系与新近系中^[1], 关于渤海海域潜山的油气勘探尚未全面展开。冀东油田在南堡凹陷潜山地层油气勘探取得了重大突破, 自2004年于老堡南1井钻遇奥陶系高产工业油气流以来, 近几年累计有十多口井在下古生界中获得工业油气流, 主要分布于南堡油田1号、2号和3号构造带^[2], 展示了该区潜山良好的资源丰度与勘探潜力。渤海海域沙垒田凸起紧邻南堡1号和2号潜山构造带(图1), 在沙垒田凸起西部以及该凸起北部分别发现

了曹妃甸1-6油田与曹妃甸2-1油气田, 钻探井揭示潜山层位均有油气的聚集。然而, 研究区(沙垒田凸起西北地区, 简称沙西北地区, 图1)在潜山油源以及成藏特征等方面尚未开展深入的研究。本次研究采集了潜山层位原油以及潜山储层的壁心进行抽提, 并完成了饱和烃的色谱质谱以及单体烃碳同位素分析实验, 明确了潜山的油气成因类型与来源, 结合研究区的地质条件浅析了两类潜山油气的富集特征并总结了沙西北地区潜山构造可能的油气藏富集模式。开展本次研究有助于厘清渤海海域沙西北地区潜山的油气成藏

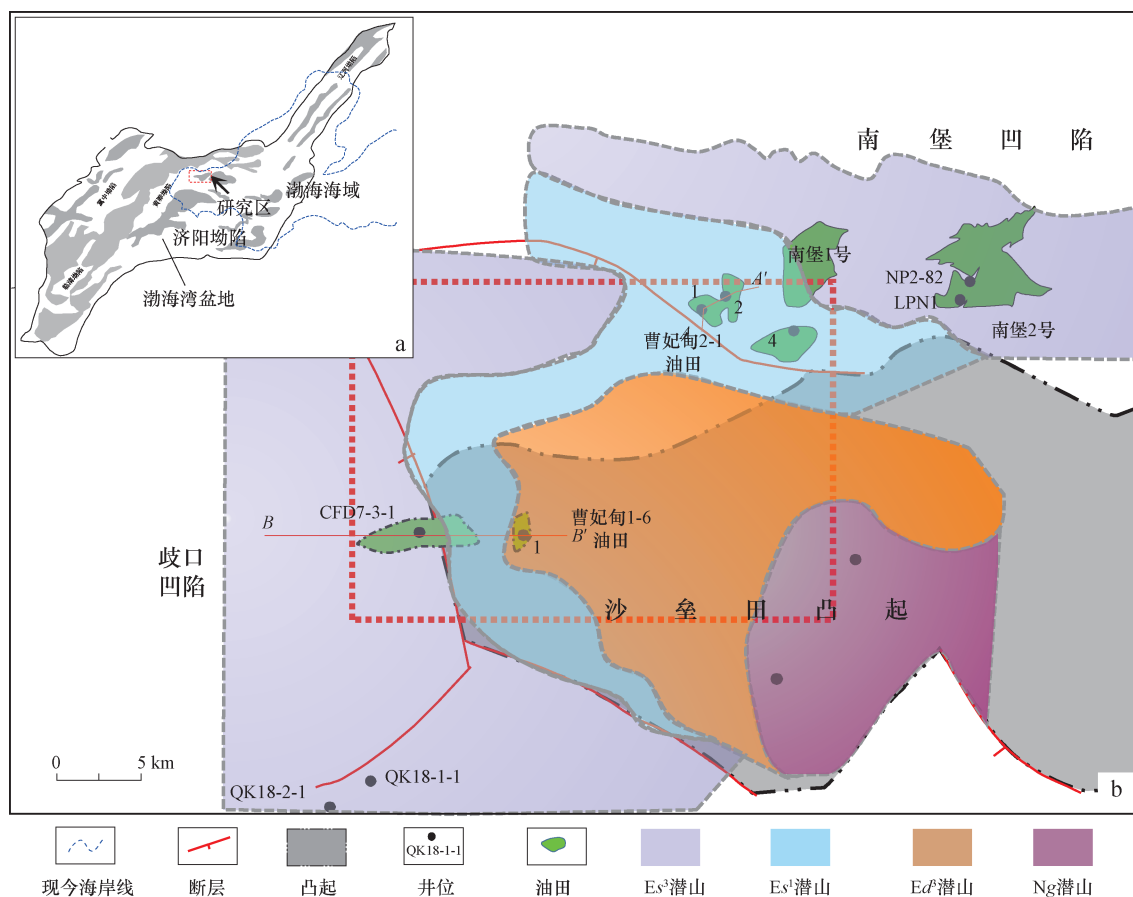


图1 渤海海域沙西北研究区(红色虚线框)位置

Fig. 1 Location of Shaxibei area (marked in dotted red rectangle), Bohai Sea

a. 渤海湾盆地及海域; b. 沙西北地区井位、剖面位置及潜山披覆地层

规律,为下一步潜山油气勘探提供借鉴意义。

1 地质背景

渤海海域沙西北构造区泛指沙垒田凸起的西北部及周边区域(图1),目前仅在曹妃甸2-1油田的碳酸盐岩潜山储层以及曹妃甸1-6油田的前寒武系花岗岩潜山储层中发现油层。钻井以及地震资料揭示,曹妃甸2-1油田奥陶系直接被沙一段覆盖,向着沙垒田凸起逐渐被东三段或者馆陶组覆盖(图1),普遍缺少中生界—古近系,为长期继承性发育的古隆起。CFD1-6-1井揭示了东营组直接披覆在花岗岩潜山地层之上。毗邻沙垒田凸起西端的歧口凹陷发育了多套烃源岩层段,包括东营组三段(E_d^3)、沙河街组一二段(沙一二段)以及沙三段(E_s^3)。由于沙一段与沙二段具有相似的沉积特征^[3],在本文中,沙一二段与沙一段(E_s^1)指相同的层段。在歧口凹陷这3套烃源岩均具有较高的质量,尤其是沙三段烃源岩,在歧口凹陷有机质丰度较高、类型好且排烃量大^[4],为周边油气成藏提供了充足的油源。沙垒田凸起的东北部为南堡凹陷,包括林雀次洼、柳南次洼和曹妃甸次洼等多个生烃洼陷,南堡1号和2号潜山原油主要来自沙二三段的烃源岩^[2]。

2 样品与实验内容

由于研究区已有的探井为日本公司承包而且完钻年代早,CFD2-1油气田也尚未开发,本次研究未能取到潜山储层的原油样品。鉴于此,查阅完井报告成果以及岩心库井壁取心样品的保存信息,本次研究挑选并采集了CFD2-1-2井奥陶系富荧光层段的壁心样品2个来近似分析潜山原油成因特征,并采集了CFD1-6-1井的前寒武系原油样品2个。对壁心抽提物与原油样品进行族组分分离、饱和烃的色谱—质谱实验分析。2个原油、壁心抽提物样品与12个不同层段的烃源岩样品用于正构烷烃的稳定碳同位素分析研究。

3 原油成因类型与来源

3.1 饱和烃生物标志物特征

Hao等(2011)从沉积环境、有机质来源与生产率等方面总结了渤海海域3套烃源岩的生标参数组合特征^[4],东营组烃源岩沉积时为偏氧化的沉积环境,

具有高的陆源有机质输入,表现出相对高的Pr/Ph与 C_{19}/C_{23} 三环萜烷与 C_{20}/C_{23} 三环萜烷比值(图2a,b)以及低4-甲基甾烷指数(简称4MSI, C_{30} 4-甲基-24-乙基胆甾烷/ ΣC_{29} 规则甾烷)、长链三环萜参数ETR[(C_{28} 三环萜 + C_{29} 三环萜)/(C_{28} 三环萜 + C_{29} 三环萜 + T_s)]与伽马蜡烷指数(G/H,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷)。在渤海海域高的 C_{19}/C_{23} 三环萜烷与 C_{20}/C_{23} 三环萜烷比值通常指示着高的陆源有机质输入^[4]。在渤海海域,ETR参数与Pr/Ph近似呈负相关的关系(图2c),表明ETR也是有效反映沉积环境的参数之一,相对碱性还原环境中形成的烃源岩具有相对高ETR参数值^[4],沙一段烃源岩具有相对高的ETR值。伽马蜡烷指数与4-甲基甾烷指数是在渤海湾盆地有效地区别沙三段与沙一段油源的重要饱和烃生标参数,沙三段烃源岩沉积时水体偏微咸水,渤海藻与副渤海藻发育^[5],具有相对高的4MSI值。而沙一段沉积时为咸化、强还原的环境,具有稳定的水体分层^[4],较高的G/H通常指示着水体分层的存在^[6]。与沙三段的源岩相比,沙一段的源岩具有相对高的G/H以及相对低的4MSI值(图2d)。

从图2中可以看出,无论是曹妃甸2-1潜山储层的抽提物还是曹妃甸1-6潜山的原油,其生标参数特征与东营组烃源岩差别显著(图2a,b),具有低的Pr/Ph, C_{19}/C_{23} 三环萜烷与 C_{20}/C_{23} 三环萜烷比值,这表明东营组的成藏贡献可能有限或者无贡献。CFD2-1-2井潜山储层的壁心抽提物具有极低的 C_{19}/C_{23} 三环萜烷与 C_{20}/C_{23} 三环萜烷比值(图2a),相对高的ETR(>0.6)与G/H(>0.3)以及相对低的4MSI(<0.15;图2c,d),这种生标参数组合特征整体与渤海海域沙一段的烃源岩具有相似性,说明了CFD2-1-2井潜山储层的抽提物主要为沙一段的油源。对比之下,CFD1-6-1井潜山的原油表现出相对高Pr/Ph, C_{19}/C_{23} 三环萜烷与 C_{20}/C_{23} 三环萜烷比值(图2a,b),在渤海海域沙三段烃源岩较沙一段烃源岩具有相对高的Pr/Ph, C_{19}/C_{23} 三环萜烷与 C_{20}/C_{23} 三环萜烷的比值^[7]。在图2d中,CFD1-6-1潜山的原油具有相对高4MSI(>0.4)以及中等的G/H(图2d),这种生标参数特征既不符合沙一段源岩特征也与沙三段的源岩有一定的差异,可能揭示曹妃甸1-6潜山的原油为以沙三段油源为主的混源油特征。

3.2 单体烃碳同位素分布

单体烃碳同位素能从分子级别反映单个化合物的来源,较之于全油和族组分碳同位素具有更明显的优

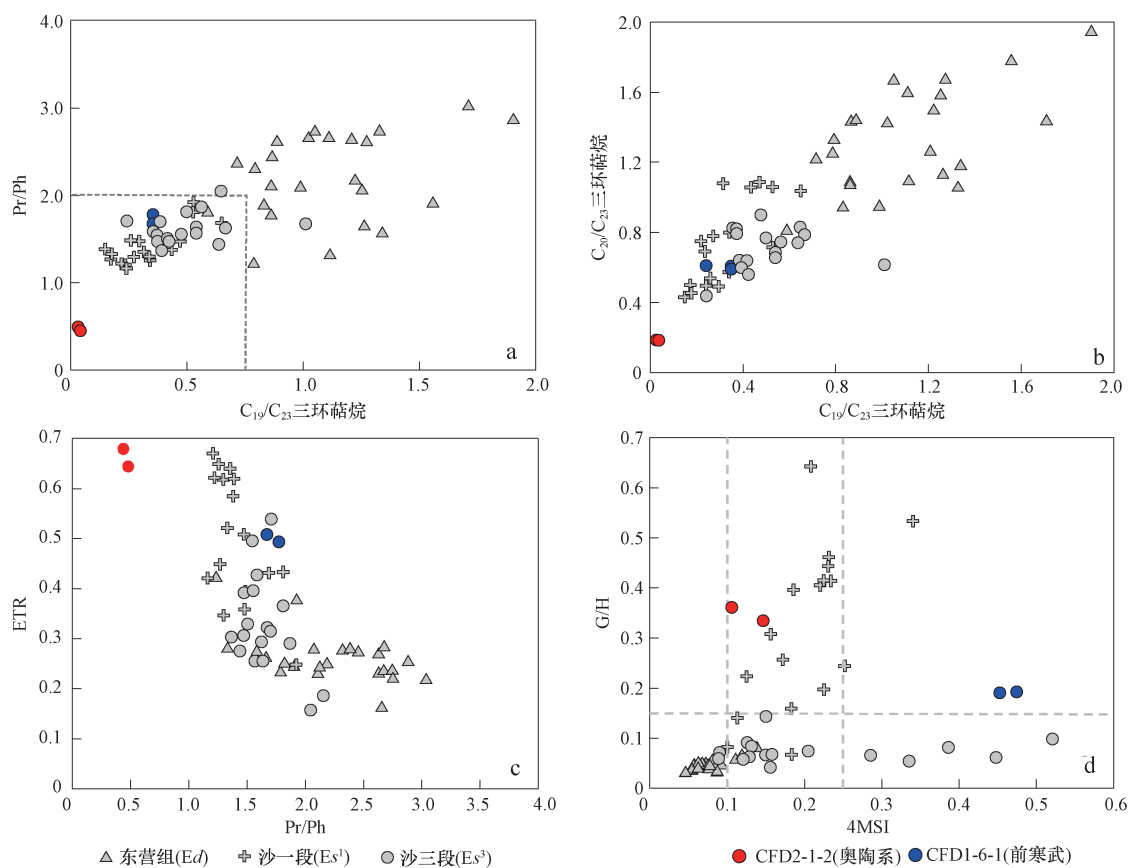


图2 渤海海域沙西北地区 CFD2-1-2 井潜山抽提物与 CFD1-6-1 井潜山原油饱和烃参数交汇图
(渤海海域烃源岩生标参数引自文献^[4])

Fig. 2 Cross plot of saturate hydrocarbon parameters for CFD2-1-2 buried hill extracts and CFD1-6-1 oil samples in Shaxibei area, Bohai Sea (biomarker parameters of source rock samples are after reference^[4])

a. 姥鲛烷/植烷与 C_{19}/C_{23} 三环萜; b. C_{19}/C_{23} 三环萜与 C_{20}/C_{23} 三环萜; c. 姥鲛烷/植烷与长链三环萜比值 (ETR);
d. 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷与 4-甲基甾烷指数

越性,已广泛应用于油源识别^[8-9]、混源定性及定量分析^[10]等油气勘探实践中。沙西北研究区的东北部南堡潜山钻探了工业性的油气,李素梅等研究发现南堡潜山原油的碳同位素值分布随着碳数的增加而递减,而且碳同位素值整体重于 -29‰ ,与奥陶系潜山披覆接触的沙三段烃源岩碳同位素特征相似,印证了潜山的油来源于沙二三段的烃源岩^[11]。

本次研究选取了渤海海域曹妃甸 2-1 构造的井与歧口凹陷周边 QK18-1-1 井和 QK18-2-1 井的 12 个不同烃源岩层段的烃源岩用于单体烃的碳同位素分析。实验结果表明,尽管沙三段与沙一段烃源岩的单体烃碳同位素值具有较多的重合区(图 3a),这可能受到了烃源岩非均质性的影响。但沙三段的烃源岩碳同位素值整体偏重,而沙一段源岩(尤其是东营组)的单体烃碳同位素值整体偏轻。而且在渤海海域秦南凹陷也存在沙三段源岩抽提物的碳同位素值整体重于沙一段的烃源岩的特征^[12],故不同烃源岩

层段生成的原油碳同位素值分布可能是有差异的。图 3b 为 CFD2-1-2 井潜山储层抽提物与 CFD1-6-1 井油样的单体烃碳同位素分布图,南堡的潜山的原油碳同位素特征^[11]用于对比分析。可以看出,CFD1-6-1 井原油样品的正构烷烃碳同位素值分布整体要重于 CFD2-1-2 的抽提物,CFD1-6-1 井原油碳同位素分布特征与南堡潜山的沙二三段成因来源的原油相似。参照烃源岩的单体烃碳同位素值分布(图 3b)可以推知,CFD1-6-1 井原油可能主要为来源于沙三段烃源岩,沙一段烃源岩也有贡献。而 CFD2-1-2 井奥陶系潜山储层的抽提物烷烃同位素相对轻,轻于 -29‰ (图 3a),可能主要为沙一段的油源。这说明,单体烃碳同位素的分析结果与基于生物标志物分析的油源结论是相吻合的,即曹妃甸 2-1 油田碳酸盐岩潜山的原油为沙一段油源,而曹妃甸 1-6 油田花岗岩潜山储层的原油则为以沙三段油源为主的混源油。

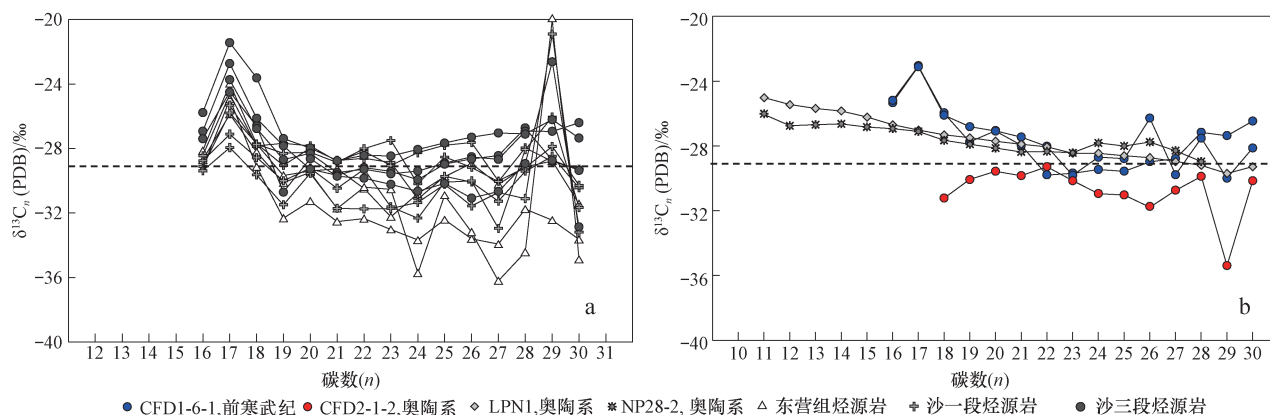


图3 渤海海域沙西北研究区单体烃碳同位素分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of carbon isotopes of n-alkanes from source rocks in Shaxibei area, Bohai Sea

a. 烃源岩; b. 原油(南堡潜山原油数据引自文献[11])

4 碳酸盐岩风化壳及储层特征

岩溶古地貌对古风化壳潜山岩溶储层的发育与分布有重要控制作用,南堡凹陷及邻区下古生界碳酸盐岩遭受了加里东晚期—海西期、印支期以及燕山期多期暴露岩溶,但早期形成的缝洞基本被充填。南堡1号和2号构造下古生界碳酸盐岩潜山岩溶储层主要是喜马拉雅期暴露大气淡水溶蚀作用形成^[13],而且古地貌处于岩溶斜坡,故缝洞较为发育。

在沙西北研究区,曹妃甸2-1油田钻井揭示了奥

陶系马家沟组的油层。本次研究详细观察了取心井CFD2-1-2的岩心,奥陶系马家沟组岩性主要为泥粉晶白云岩。基于岩心与薄片观察,可以将曹妃甸2-1潜山风化壳结构分为潜山上部的岩溶残积层和溶蚀带两部分,垂直渗滤带和水平潜流带难以识别。潜山顶部分发育着一套岩溶残积层,不规则的角砾大小混杂,并且完全被胶结(图4a,b)。残积层之下的溶蚀带层段岩性主要为泥晶白云岩,局部发育细晶白云岩,泥晶白云岩段裂缝基本被充填(图4d,e)。溶蚀带的裂缝整体不发育,且其渗透性和孔隙度普遍比较差,可能难以作为有效储层。在细晶白云岩层段,由于其脆性大,裂

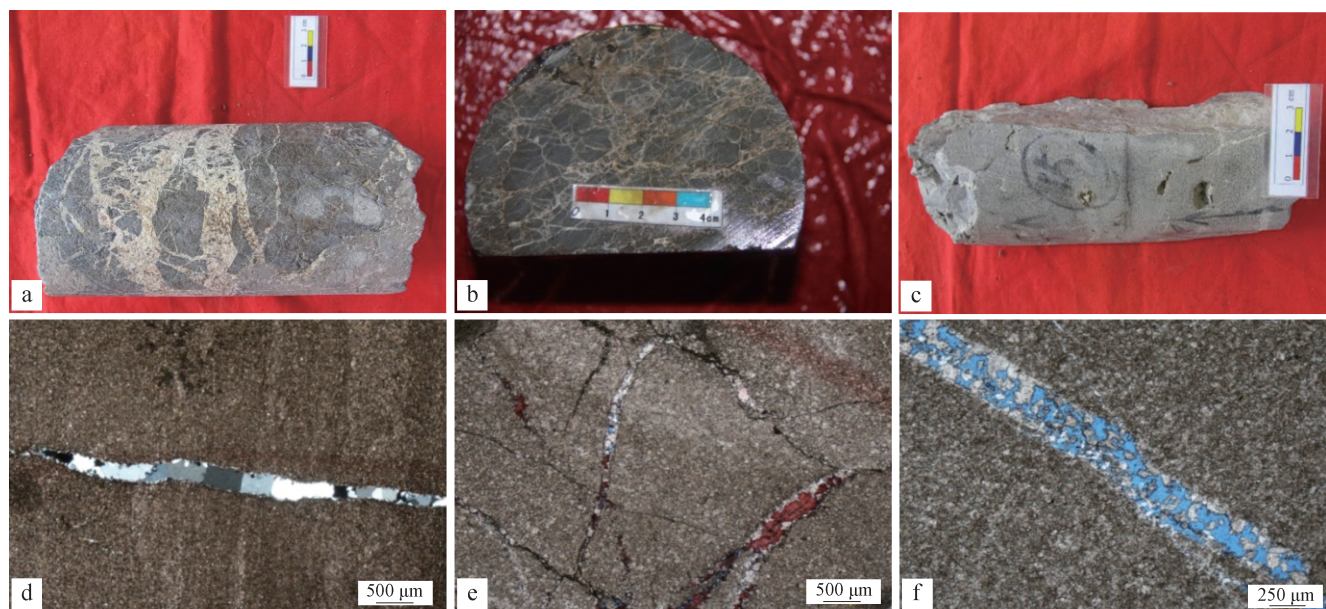


图4 渤海海域 CFD2-1-2 井碳酸盐岩风化壳发育特征

Fig. 4 Characteristics of carbonate weathered crust in Well CFD2-1-2, Bohai Sea

- a. 风化壳角砾灰岩,裂缝被方解石完全充填,埋深3 442.4 m; b. 泥晶白云岩,网状裂缝被充填,埋深3 447.4 m; c. 粉晶白云岩,顺裂缝发育溶孔,埋深3 706.15 m; d. 泥晶白云岩,裂缝被石英充填,埋深3 447.4 m; e. 泥晶灰岩,裂隙基本被方解石充填,埋深3 706.4 m; f. 泥晶白云岩,裂缝部分被方解石充填,埋深3 709.3 m

缝较发育,但也基本被方解石充填,仅在局部可见未被充填的孔洞(图4c,f)。在沙西北邻区的南堡构造带也类似,南堡潜山的岩溶发育以及高产的油气井总体沿次一级的断裂分布^[14],靠近断裂,储层裂缝密度大^[15],这说明断裂在一定程度上促进了裂缝的发育进而改善了岩溶条件。然而,由于喜马拉雅期前产生的裂缝多已被充填,岩溶也是局部发育,因此推知南堡凹陷以及沙西北地区的不整合可能不具备长距离输导油气的能力。沙西北研究区曹妃甸2-1潜山为次级岩溶高地古地貌,并且发育了残积层,岩溶改造程度弱,可能局部发育潜山内幕储层,如在CFD2-1-2井下马家沟组的细晶白云岩段。

5 潜山油气成藏模式

5.1 碳酸盐岩潜山-源岩直接披覆油气成藏模式

南堡凹陷生烃次凹发育沙河街组与东营组多套烃源岩,而南堡1号和2号潜山构造带奥陶系碳酸盐岩潜山储层接触沙二+沙三段成熟烃源岩,烃源岩所生油气可以直接下排或通过断层的源储侧向对接供烃^[2]。因此,与潜山直接披覆接触的有效烃源岩是潜山油气成藏的基础。在渤海海域曹妃甸2-1构造区潜山地层直接披覆沙河街一段烃源岩。参考渤海海域烃源岩深度与镜质体反射率的关系^[16],可知曹妃甸2-1潜山上覆的沙河街组一段烃源岩处于成熟生油期(对应的 $R_o > 0.7\%$,图5),潜山地层上覆沙一段既作为烃源层段有利于油气充注侧向直接充注至

潜山圈闭中,又可作为了良好的盖层阻止潜山的油气散失。

流体包裹体记录了油气成藏过程中流体的充注信息,本次研究分析了曹妃甸2-1奥陶系潜山顶部分沙一段碳酸盐岩储层中的流体包裹体特征。通过流体包裹体的荧光,观察发现在灰岩与白云岩储层中均存在大量的油包裹体与盐水包裹体,油包裹体发强烈的蓝白色荧光,主要分布在方解石颗粒中,产状主要是沿着方解石的解理缝、生物碎屑的内边缘分布(图6)。与石油包裹体伴生的盐水包裹体显微测温结果揭示包裹体均一化温度位于110~180℃,主峰位于150~170℃(图7)。

结合单井热埋藏史图与流体包裹体均一化温度分布可知,储层流体包裹体的均一化温度与对应深度现今温度相近,甚至高于背景温度,这表明油气可能主要是晚期充注^[16],对应充注时期可能晚于3.0 Ma(图7),现今仍可能在充注。这种充注特征可能主要与烃源岩热演化生烃有关。参照前人对渤海海域生烃灶热演化的研究成果^[17],沙西北地区沙一段的烃源岩在5.1 Ma时期普遍处于低成熟热演化阶段,但现今已处于普遍处于成熟生油阶段,表明沙一段烃源岩生成的油气主要在5.1~0 Ma期间充注运移,这与以上油气充注的研究结论是相吻合的。

综合油源对比结论(潜山储层抽提物为沙一段的油源)以及与烃源岩披覆接触的碳酸盐岩储层中油气充注时间可知,曹妃甸2-1油田碳酸盐岩潜山储层中油藏为新生古储的近源成藏模式。

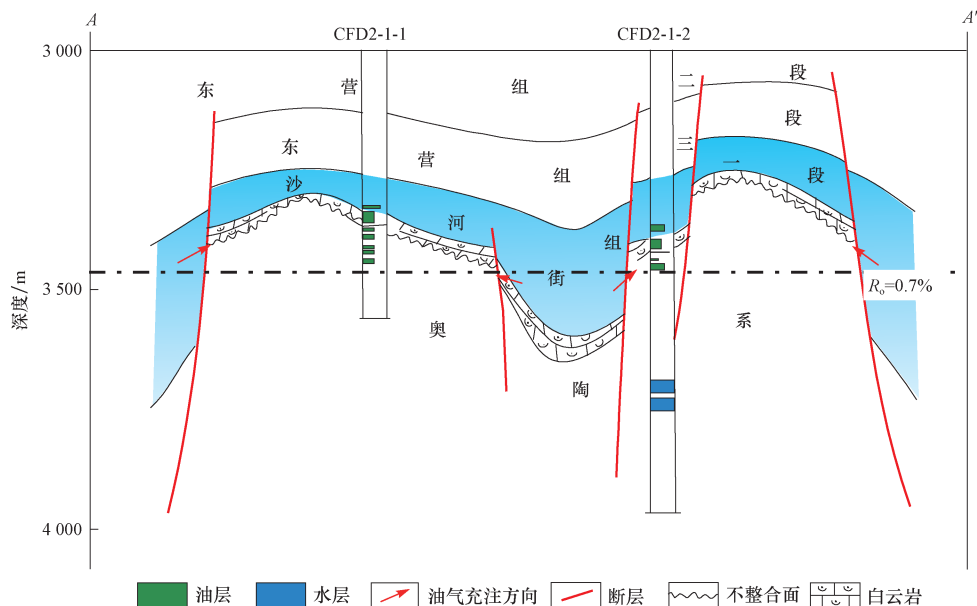


图5 渤海海域曹妃甸2-1油田油气成藏模式(剖面位置见图1b)

Fig. 5 Petroleum accumulation model for the CFD2-1 oil field(section location is listed in Fig. 1b)

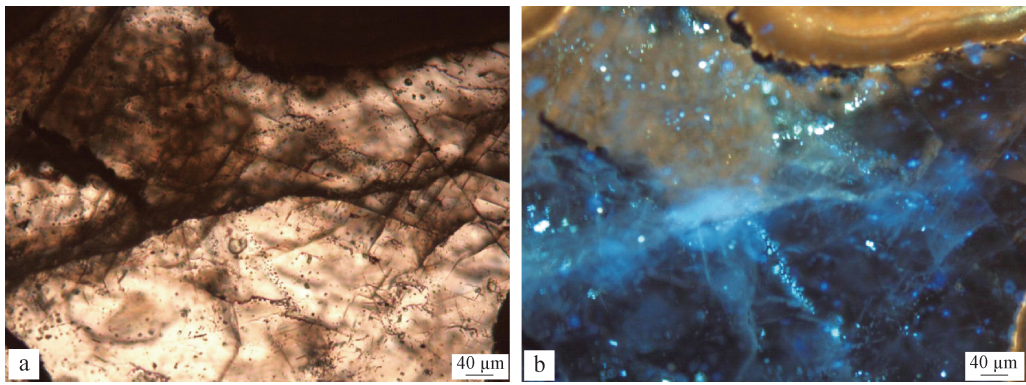


图 6 渤海海域 CFD2-1-2 井碳酸盐岩储层中包裹体显微照片
Fig. 6 Photomicrographs of the inclusions observed in carbonate reservoir from Well CFD2-1-2, Bohai Sea
a. 透射光,埋深 3 443.05 m;b. 荧光,室温观察,埋深 3 443.05 m

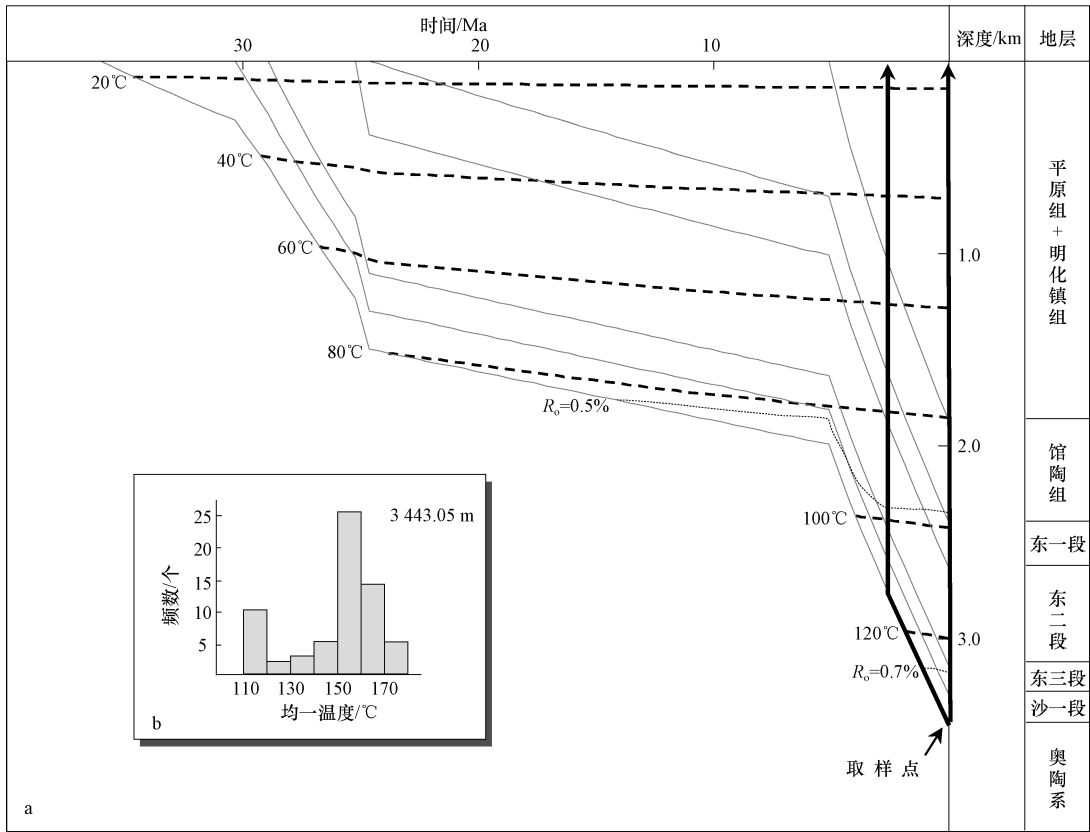


图 7 渤海海域 CFD2-1-2 井热埋藏史(a)与油包裹体伴生的盐水包裹体的均一化温度分布(b)
Fig. 7 Thermal burial history of Well CFD2-1-2 and the homogeneous temperature distribution for aqueous inclusions concomitant with oil inclusions, Bohai Sea

5.2 花岗岩潜山-油源侧向输导成藏模式

曹妃甸 1-6 油田位于歧口凹陷的西侧,紧邻歧口凹陷的边界断层。其储层的岩性为前寒武系的花岗岩,上覆地层为东营组致密的泥岩。但东营组泥岩的有机质丰度低,有机质类型差(图 8),而且凸起之上泥岩埋深小于 3 000 m,按现今的地温梯度可推知处于未成熟演化阶段^[16],故直接覆盖的东营组泥岩可能并非有效的烃源岩,主要作为盖层。生标参数揭示潜山的

原油具有相对高 4MSI 以及中等的 G/H(图 2),为以沙三段为主的混源油。

CFD1-6 控藏断层在剖面上为铲式正断层(图 9a),上陡下缓。根据不同测线方向的对比断层活动历史可知,该断距最大出现在东营组,最大可达 300 m;馆陶组、明化镇组沉积以来断距非常小,不足 50 m。仅此可推知 CFD1-6 控藏断层可能主要在东营组活动,考虑到研究区凸起之上的沙河街组已被剥蚀,因其无法通过地层断距分析沙河街组是否开始活

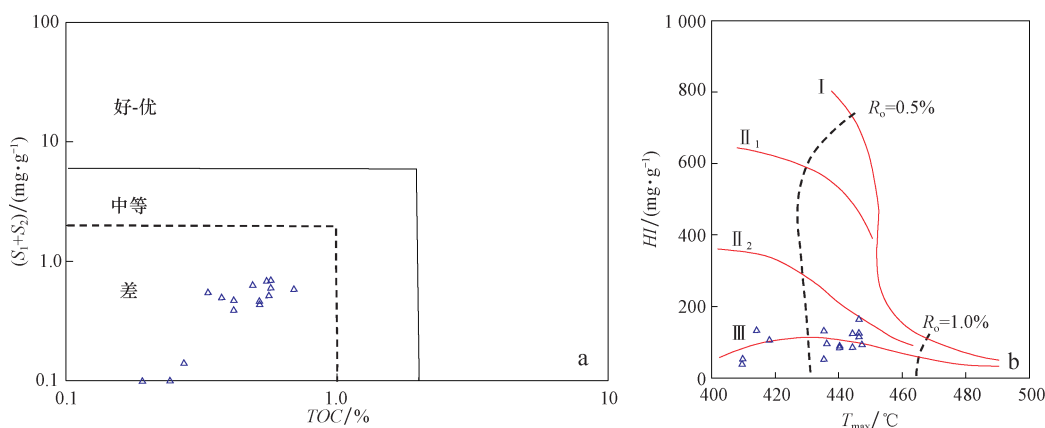


图8 渤海海域CFD1-6-1井东营组泥岩生烃潜力评价

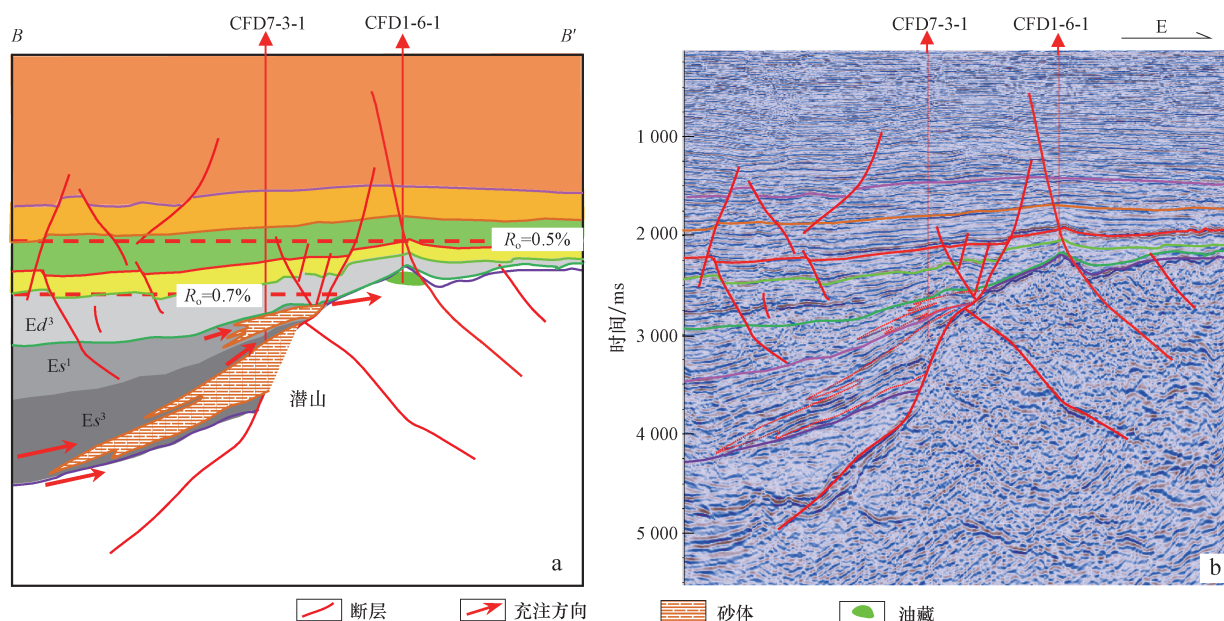
Fig. 8 Diagrams to evaluate hydrocarbon generation potential of the Dongying Foramtion(Ed^3) mudstones from Well CFD1-6-1, Bohai Sea

图9 渤海海域曹妃甸1-6油田油气成藏模式(剖面位置见图1b)

Fig. 9 Petroleum accumulation model of the CFD1-6 oil field, Bohai Sea (section location is listed in figure 1b)

a. 过歧口凹陷地质剖面; b. 过歧口凹陷地震剖面

动,所以本研究不能判定该条断层仅在东营组强烈活动,或许在沙河街组强烈活动,只是没有在地层断距上留下地层断距记录。尽管如此,从控藏断层的断距分布特征可以推知,东营组末期以来断层活动强度相对低,潜山圈闭可能在东营组末期已定型。

从切过歧口凹陷的地质剖面上看(图9a),沙河街组的烃源岩现今已成熟生气(烃源岩成熟度对应的 R_o 高于0.7,剖面上所标定的 R_o 值参考文献^[16])。尽管在研究区钻井并未采集CFD1-6-1潜山储层的岩样,但基于与CFD1-6潜山接触的地层分布以及歧口凹陷沙三段烃源岩热演化特征^[18]以及圈闭的形成时期可推知,CFD1-6潜山储层的油气可能在充注成藏期在东营组沉积末期。

在地震剖面上,靠近边界断层可以识别较为明显的

砂体分布,同相轴上表现为空白的弱振幅或者杂乱的反射特征(图9b),砂体与歧口凹陷的沙河街组烃源岩配置良好,有利于歧口凹陷生成的油气侧向充注到凸起之上的花岗岩潜山圈闭中。而且靠近边界断裂,晚期断裂活动还可能有利于花岗石潜山风化壳形成裂缝进而改善储集条件。因此,曹妃甸1-6花岗岩潜山原油表现为近源多源的侧向油气输导成藏模式。

6 结论

1) CFD2-1-2井潜山储层的抽提物为沙一段的原油,对应的油气充注时间晚于5.1 Ma; CFD1-6-1井潜山原油以沙三段油源为主的沙河街组混原油,油气充注期可能为东营组沉积末期。

2) 沙西北地区碳酸盐岩潜山不整合可能不具备长距离输导油气的能力,与潜山直接披覆接触的有效烃源岩是碳酸盐岩潜山油气成藏的基础。优质储层的发育与断裂关系密切,靠近断裂的潜山可能发育层间岩溶,因此在距离次一级断裂较近并且分布成熟烃源岩的潜山圈闭可能具有较好的勘探潜力。

3) 沙垒田凸起之上的东营组泥岩可作花岗岩储层的有效盖层,毗邻边界断层的歧口凹陷斜坡砂体较为发育,砂体侧向沟通了歧口凹陷的油源,有利于油气向潜山运移充注。

参 考 文 献

- [1] 邹华耀,周心怀,鲍晓欢,等. 渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式[J]. 石油学报,2010,31(6):885-893.
Zou Huayao, Zhou Xinhui, Bao Xiaohuan, et al. Controlling factors and models for hydrocarbon enrichment/depletion in Paleogene and Neogene, Bohai sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6): 885-893.
- [2] 李素梅,董月霞,王政军,等. 南堡凹陷潜山原油特征与成因探讨[J]. 沉积学报,2014,32(02):376-384.
Li Sumei, Dong Yuexia, Wang Zhengjun, et al. Characteristics and formation mechanism of deep oils from Nanpu depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(02): 376-384.
- [3] Hao Fang, Zhou Xinhui, Zhu Yangming, 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.
- [4] 姜福杰,庞雄奇,姜振学,等. 渤海海域沙三段烃源岩评价及排烃特征[J]. 石油学报,2010,31(6):906-912.
Jiang Fujie, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, et al. The quality evaluation and hydrocarbon-expulsion characters of source rocks in the 3rd member of Shahejie Formation in the Bohai sea[J]. 2010, 31(6): 906-912.
- [5] 傅宁,邓运华,张功成,等. 南海北部叠合断陷盆地海陆过渡相烃源岩及成藏贡献—以珠二坳陷白云凹陷为例[J]. 石油学报,2010,31(04):559-565.
Fu Ning, Deng Yunhua, Zhang Gongcheng, et al. Transitional source rock and its contribution to hydrocarbon accumulation in superimpose rift-subsidence basin of northern South China Sea: Taking Baiyun Sag of Zhu II depression as an example[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(04): 559-565.
- [6] 张立平,黄第藩,廖志勤. 伽马蜡烷—水体分层的地球化学标志[J]. 沉积学报,1999,17(01):136-140.
Zhang Liping, Huang Difan, Liao Zhiqin. Gammacerane-geochemical indicator of water Column stratification[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(01): 136-140.
- [7] Hao Fang, Zhou Xinhui, Zhu Yangming, 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.
- [8] 李素梅,郭栋. 东营凹陷原油单体烃碳同位素特征及其在油源识别中的应用[J]. 现代地质,2010,24(02):252-258.
Li Sumei, Guo Dong. Characteristics and application of compound specific isotope in oil-source identification for oils in Dongying depression, Bohai Bay Basin[J]. Geoscience, 2010, 24(02): 252-258.
- [9] 张文正,裴戈,关德师,等. 中国几个盆地原油轻烃单体和正构烷烃系列分子碳同位素研究[J]. 地质论评,1993,39(1):79-88.
Zhang Wenzheng, Pei Ge, Guan Deshi, et al. The carbon isotopic composition of the light hydrocarbon monomer and normal alkane series molecules from crude oil of some petroliferous basins in China[J]. Geological Review, 1993, 39(1): 79-88.
- [10] Li Sumei, Amrani Alon, Pang Xiongqi, et al. Origin and quantitative source assessment of deep oils in the Tazhong Uplift, Tarim Basin[J]. Organic Geochemistry, 2015, 78: 1-22.
- [11] 李素梅,庞雄奇,万中华. 南堡凹陷混源油分布与主力烃源岩识别[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2011,36(06):1064-1072.
Li Sumei, Pang Xiongqi, Wan Zhonghua. Mixed oil distribution and source rock discrimination of Nanpu depression, Bohai Bay Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(06): 1064-1072.
- [12] Wang Qi, Hao Fang, Xu Changgui, et al. Geochemical characterization of QHD29 oils on the eastern margin of Shijiutuo uplift, Bohai Sea, China: Insights from biomarker and stable carbon isotope analysis[J]. Marine and Petroleum Geology, 2015, 64: 266-275.
- [13] 董月霞,赵宗举,曹中宏,等. 南堡凹陷奥陶系碳酸盐岩岩溶残丘圈闭勘探潜力及意义[J]. 石油学报,2015,36(06):653-663.
Dong Yuexia, Zhao Zongju, Cao Zhonghong, et al. Exploration potential and significance of Ordovician carbonate karst monadnock traps in Nanpu sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(06): 653-663.
- [14] 王拥军,张宝民,王政军,等. 渤海湾盆地南堡凹陷奥陶系潜山油气地质特征与成藏主控因素[J]. 天然气地球科学,2012,23(01):51-59.
Wang Yongjun, Zhang Baomin, Wang Zhengjun, et al. Geological characteristics of Ordovician buried hill and main factors of oil/gas accumulation in Nanpu sag, Bohai Bay Basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(01): 51-59.
- [15] 刘畅,陈冬霞,董月霞,等. 断层对南堡凹陷潜山油气藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质学,2015,36(01):43-50.
Liu Chang, Chen Dongxia, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon accumulation of buried hill reservoirs in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(01): 43-50.
- [16] Wang Qi, Zou Huayao, Hao Fang, et al. Modeling hydrocarbon generation from the Paleogene source rocks in Liaodong Bay, Bohai Sea: A study on gas potential of oil-prone source rocks[J]. Organic Geochemistry, 2014, 76: 204-219.
- [17] 田金强. 渤海湾地区大中型油气田成藏机理与模式[D]. 北京: 中国石油大学(北京),2011
Tian Jinqiang. Mechanism and model of hydrocarbon accumulation of large and medium-sized oil and gas fields in Bohai Bay Area[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2011.
- [18] Zuo Y H, Qiu N S, Zhang Y et al. Geothermal regime and hydrocarbon kitchen evolution of the offshore Bohai Bay Basin, North China[J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(5): 749-769.