

北黄海东部次盆地油气成藏主控因素

刘金萍,王改云,王嘹亮,简晓玲,杜 民,万晓明

(国土资源部广州海洋地质调查局 国土资源部海底矿产资源重点实验室,广东 广州 510075)

摘要:北黄海东部次盆地尚处于勘探早期,石油地质条件复杂,油气成藏主控因素尚未探明。结合目前勘探成果,利用多口钻井资料,综合运用油气地球化学、烃源岩有机相划分、储层成岩作用和流体包裹体测温等手段,确定了东部次盆地的油气成藏主控因素。分布局限的中、低丰度烃源岩决定了东部次盆地油气平面分布范围,并决定了油气纵向上也是围绕烃源岩出现,而在远离主生烃灶的构造带和远离主力烃源岩的层段则难以运聚成藏;早期缓慢浅埋—中期强烈隆升—晚期快速深埋的沉积过程影响了油气分布,这一特殊的沉积埋藏过程控制了东部次盆地烃源岩生、排烃历史和储层演化史,造成东部次盆地大量生、排烃和成藏事件均发生在新近纪,而受成岩作用等因素的影响,此时主要目的层储层已大面积低孔、低渗,油气难以长距离运移,最终导致东部次盆地难以发生大规模的油气运聚成藏。综合而言,东部次盆地的油气成藏特征属于近源成藏,因此近主生烃灶的勘探目标风险小,下步勘探要在临近主生烃灶、同时储集条件有利的二级构造带上寻找以构造圈闭和构造—岩性复合圈闭为主的勘探目标。

关键词:沉积过程;油气分布;油气成藏;东部次盆地;北黄海

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Main controlling factors of hydrocarbon accumulation in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

Liu Jinping, Wang Gaiyun, Wang Liaoliang, Jian Xiaoling, Du Min, Wan Xiaoming

(MLR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510075, China)

Abstract: Eastern Sub-basin of the North Yellow Sea is still in the early stage of exploration, its petroleum geologic conditions are complex, and the main controlling factors of hydrocarbon accumulation are still not clear. Drilling data, petroleum geochemistry, organic phase classification, diagenesis and fluid inclusion thermometry were integrated to determine the main controlling factors of hydrocarbon accumulation. The distribution of source rocks with low to moderate abundance has controlled the area of oil and gas, and the hydrocarbons occur typically adjacent to the source rocks in vertical. But it is difficult for oil and gas to accumulate in the structural zone far away from the “hydrocarbon kitchen” and the main source rock intervals. The sedimentary process of slowly and shallow burial in early stage—intense uplift in middle stage—rapidly and deep burial in late stage affected the distribution of hydrocarbons. This special sedimentary-burial process also controlled the generation-expulsion history and the reservoir evolution history in the Eastern Sub-basin, and resulted in that the events of generation and expulsion and accumulation of hydrocarbon all occurred during the Neogene. Due to the influences of diagenesis and other factors, the major targets had been turned into the low-porosity and low-permeability reservoirs in the Neogene, making it hard for hydrocarbons to migrate in long distance. Therefore, large-scale hydrocarbon migration and accumulation have not occurred in the Eastern Sub-basin. As a whole, the reservoirs in Eastern Sub-basin features in near-source accumulation, so the targets adjacent to the main “hydrocarbon kitchen” have the lower risk of exploration. Therefore, the structural traps and structural-lithologic composite traps of the secondary structures, which are adjacent to “hydrocarbon kitchen” with good reservoirs, can be the favorable targets in the further exploration.

Key words: sedimentary process, oil and gas distribution, hydrocarbon accumulation, Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

东部次盆地位于北黄海海域,地理上位于中国大陆与朝鲜半岛之间,构造上处于中朝板块东南部,属于

华北地台向东部海区的延伸部分,往西为郯庐断裂和渤海湾盆地,北面为胶辽地块,南面为胶北—刘公岛隆

收稿日期:2015-06-01;修订日期:2015-10-01。

第一作者简介:刘金萍(1974—)女,博士,高级工程师,油气地球化学及石油地质。E-mail:2497246@qq.com。

通讯作者简介:王改云(1980—)女,博士,高级工程师,石油地质。E-mail:94198351@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(41302100)。

起区,东北接朝鲜的安州盆地(图1)。东部次盆地面积约5 000 km²,属于中国海域勘探程度较低的一个盆地,该盆地邻区则较早开展了油气调查并有发现^[1-2]。近年来,在该盆地发现有来自中生界的油气流,显示了该盆地具有一定的勘探前景。东部次盆地勘探历程较短,对该盆地油气成藏主控因素的研究尚在进一步探索中。目前在该盆地的综合地球物理调查和实际钻探资料已有一定积累,本研究基于近年来的勘探实践,在基础地质研究的基础上,对该盆地油气藏形成的主控因素做出分析,为后期的油气勘探提供基础支撑及理论指导。

1 区域地质概况

北黄海东部次盆地是发育于华北地台隆起背景之上的一个中、新生代陆相断陷盆地^[3-4],基底主要为太古宇—下元古界变质岩和中、上元古界—寒武系碳酸盐岩、板岩等。该盆地自中侏罗世以来开始沉降接受沉积,自下而上发育中侏罗统、上侏罗统、下白垩统、渐新统和新近系—第四系。东部次盆地现今呈“三拗四隆”的构造格局(图1a),其中位于盆地中部的中部拗陷面积约2 000 km²(图1b),是东部次盆地的主体拗陷。早侏罗世之后,中国东部的构造格局发生基本变革,进入以裂陷盆地为主的构造演化阶段^[5],东部次盆地开始发育。东部次盆地的构造演化经历了中侏罗世初始断陷期、晚侏罗世—早白垩世断陷扩展期、早白垩世末—始新世构造反转期、渐新世强烈断陷期、渐新世末—中新

世初构造反转期、中中新世—第四纪区域沉降期6个主要的演化阶段。总体上,东部次盆地可以看作是被晚白垩世—始新世抬升剥蚀作用分隔的中生代和新生代两个沉降旋回,即两期伸展成盆过程,而这两期成盆均具有断陷型伸展盆地性质,断裂构造基本控制了东部次盆地的发生、发展和总体沉积、构造格局(图2)。

2 油气成藏主控因素

2.1 布局局限的中、低丰度烃源岩决定了油气分布

国内外成功的油气勘探经验表明,形成大规模的油气聚集必须具备大面积分布、高丰度、适当热成熟度的烃源岩。而源控论是陆相断陷盆地油气分布的重要理论,该理论有效地指导了中国东部断陷盆地的油气勘探^[6-8]。在陆相断陷盆地中,油气分布受富生烃洼陷、油源断裂及输导体系的控制尤为明显^[9-10]。东部次盆地是一个小型陆相断陷盆地,盆地勘探至今,在三口探井中均见到较好的油气显示,试油也获得了一定的产能,但尚未找到大规模的工业性油气藏,分析认为主力烃源岩分布局限,且丰度相对较低是最重要的一个因素。

目前的钻探结果显示,盆地内的烃源岩主要为中—上侏罗统暗色泥岩。中—晚侏罗世,东部次盆地均接受陆相沉积,发育湖泊及河流—三角洲等沉积体系,具有较好的成烃环境。中—上侏罗统两套烃源岩主要发育在东部次盆地的中部拗陷。中侏罗世处于湖

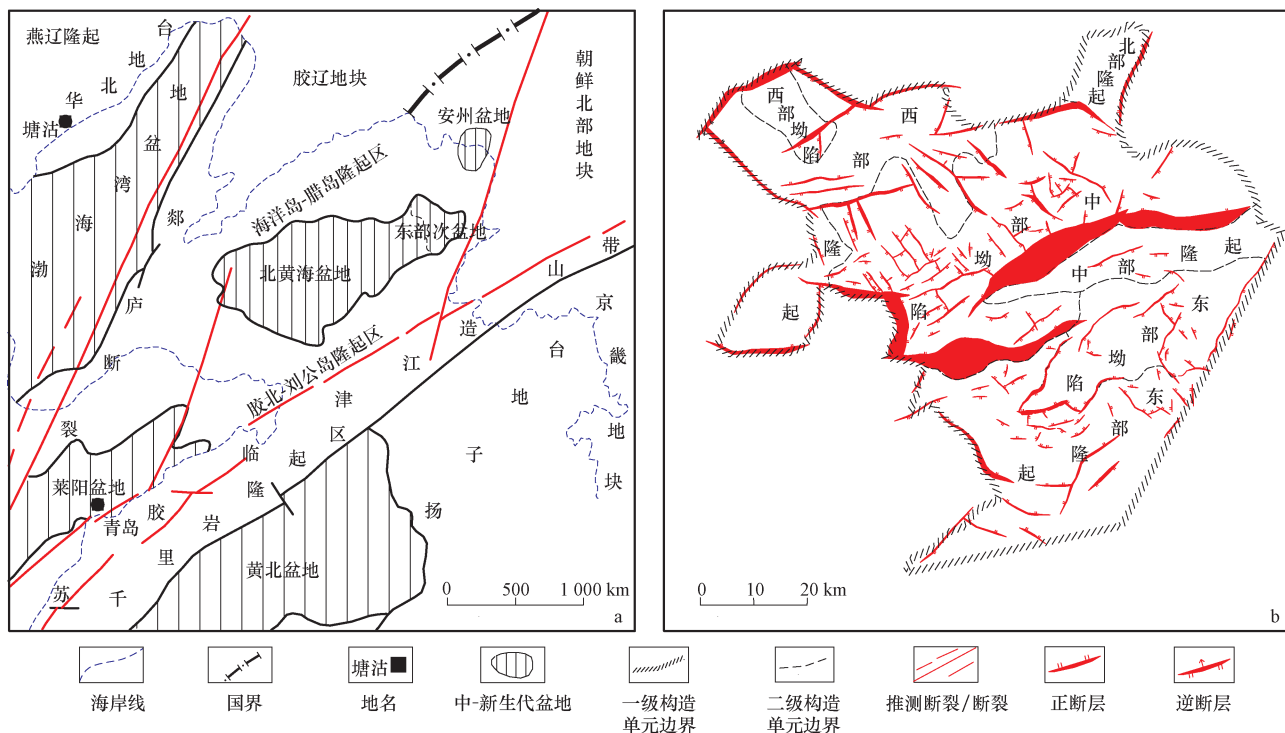


图1 北黄海东部次盆地地理位置(a)及构造区划(b)

Fig. 1 Location(a) and tectonic division(b) of the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

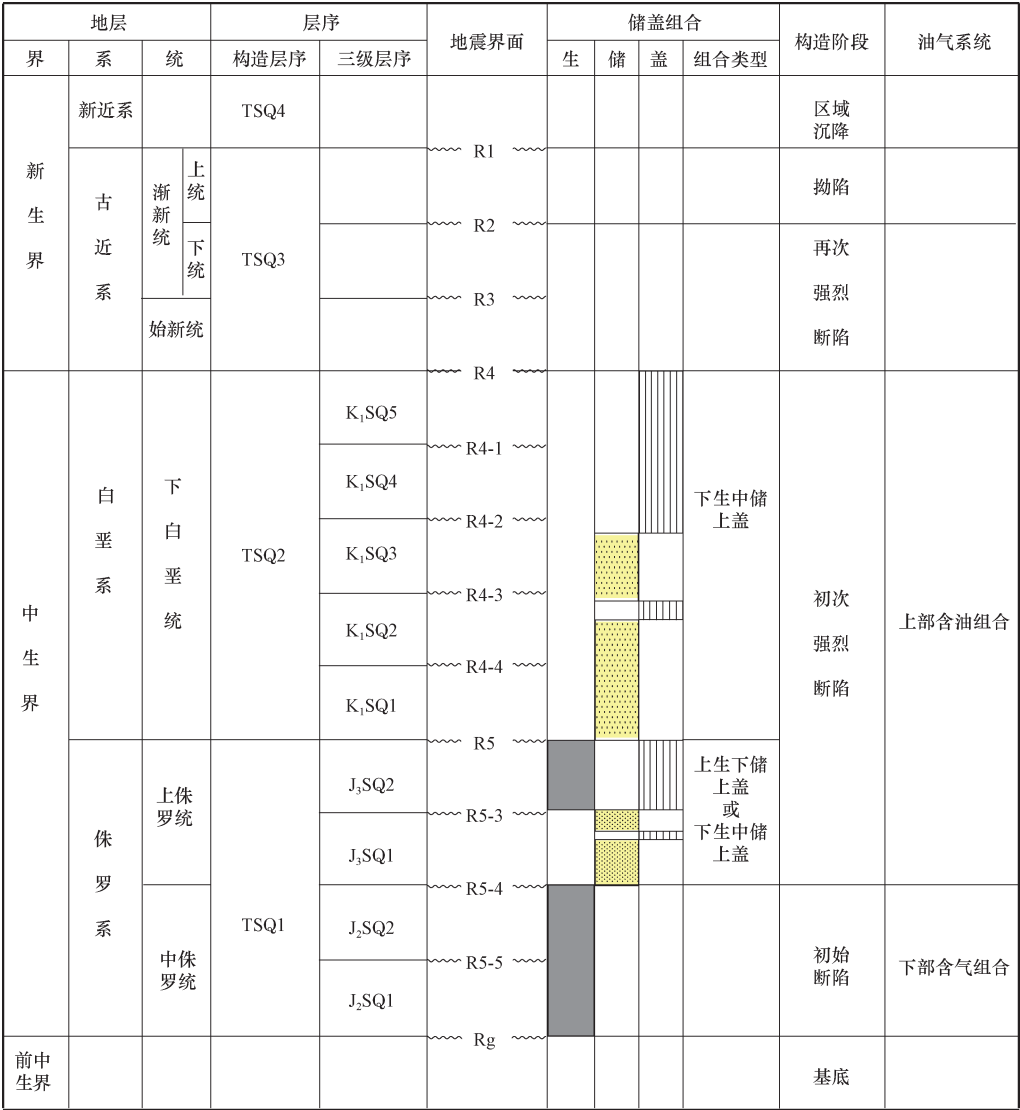


图 2 北黄海东部次盆地地层综合柱状图

Fig. 2 Composite stratigraphic columnar section of the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

盆的断陷初期,受边界断层等限制,中侏罗统在盆地中分布较局限,分布面积约 400 km²,暗色泥岩厚度为 0~1 400 m,沉积中心位于中部拗陷的西南部。晚侏罗世处于断陷扩展期,上侏罗统分布面积扩大到 600 km² 左右,暗色泥岩厚度为 0~600 m,沉积中心位于中部拗陷中部与盆地西南侧边界断层之间(图 3a,b)。

从烃源岩特征上看,中侏罗统烃源岩母质以陆源高等植物为主,主要为Ⅲ型干酪根,有机碳含量中等,氢指数多在 200 mg/g 以下。由于缺少富氢的组分,目前钻井中揭示的中侏罗统烃源岩应是一套以生气为主的倾气型源岩。上侏罗统烃源岩母质为高等植物和低等水生生物混杂,兼有Ⅱ型和Ⅲ型干酪根,一部分氢指数小于 200 mg/g,还有一部分氢指数在 300~600 mg/g,这类干酪根类型较好、有机质丰度较高的成熟烃源岩是盆地内重要的有效的油源岩,目前钻井中发现的油气主要来自该套烃源岩。

温度场及其演化对烃源岩成熟演化具有重要的影

响。中国大陆边缘和西太平洋洋壳之间的黄海海域,属于过渡型地壳结构。由于受周边大地构造制约,整个北黄海盆地(包括东部次盆地)的基底属于华北地块,地壳厚度为 14~30 km,岩石圈厚度一般为 50~60 km^[11-12]。限于目前的勘探和研究程度,东部次盆地的地温场数据(如地温梯度、热流等)鲜有报道。据 Davies^[13] 基于全球 38 347 个热流数据所做的估算,研究区现今热流在 65~75 mW/m²。从东部次盆地有限的 BHT(井底温度)数据,推断研究区的地温梯度在 30℃/km 左右,根据实测镜质体反射率数据估算的不同钻井最高地温梯度在 30~33℃/km。

基于以上认识,整合研究区大量基础数据,利用 PetroMod 盆地模拟软件^[14],模拟了东部次盆地两套烃源岩的热演化史(图 3c,d)。结果显示,现今中部拗陷中侏罗统烃源岩顶界的 R_o(镜质体反射率)值已超过 0.8%,深拗部位 R_o 值超过 1.2%,热演化程度达成熟-高成熟阶段。现今中部拗陷主体部位上侏罗统烃源岩

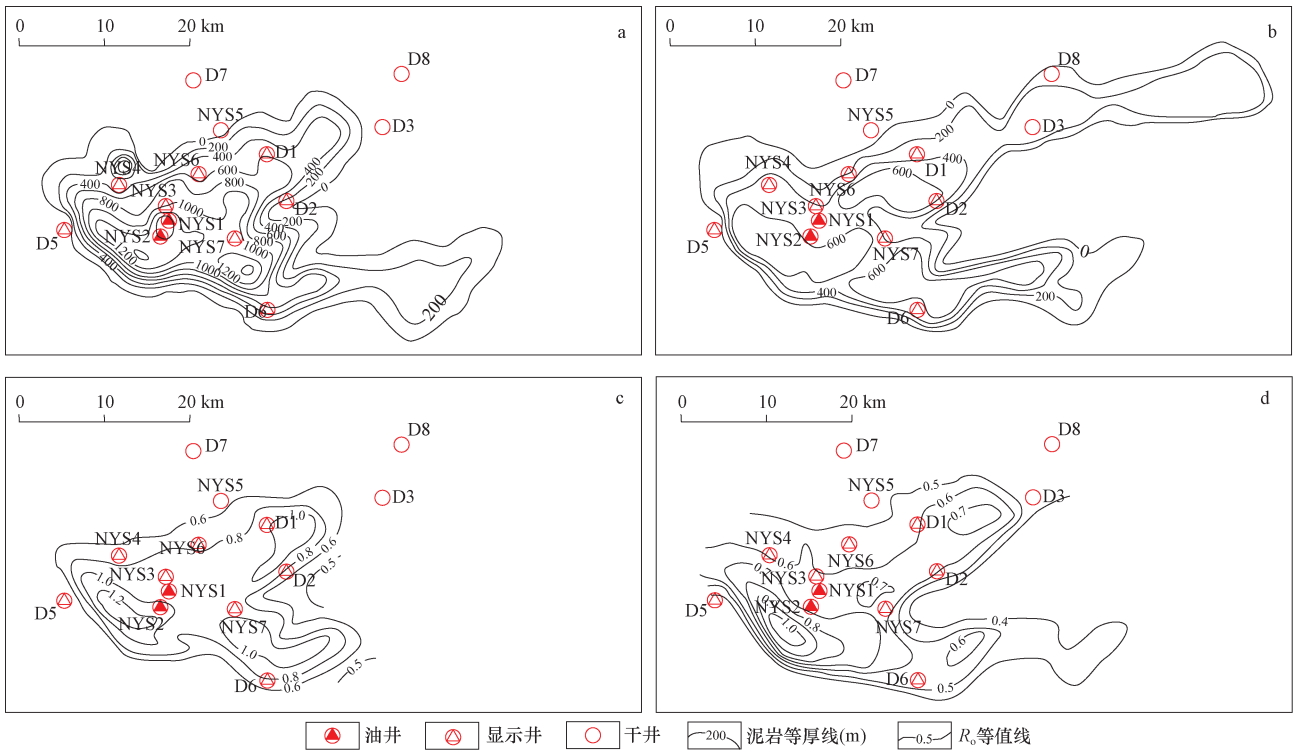


图 3 北黄海东部次盆地中-上侏罗统暗色泥岩厚度和现今镜质体反射率(R_o)模拟结果

Fig. 3 Isopach map of dark mudstone and present-day R_o modeling results of the Middle and Upper Jurassic in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

a. 中侏罗统暗色泥岩厚度;b. 上侏罗统暗色泥岩厚度;c. 中侏罗统烃源岩现今 R_o 模拟结果;d. 上侏罗统烃源岩现今 R_o 模拟结果

顶界的 R_o 值为 0.6%~1.0%,处于有机质成熟阶段,因此,中部拗陷中的中-上侏罗统烃源岩具备一定的生排烃潜力和油气供给能力。按照“源热共控”论^[15],北黄海盆地处于克拉通内部(内带),热流值低-较高,湖相烃源岩在相对较低的温度场作用下主要生油。目前东部次盆地的勘探实际与这一结论相符。

按照 Pepper^[16]提出的烃源岩有机相地球化学动力学划分标准,东部次盆地的两套烃源岩多属于有机相 D/E 和有机相 F,少数属于有机相 C(表 1)。因此,东部次盆地中生界的两套烃源岩属于中、低丰度的烃源岩,这就从根本上决定了东部次盆地不能成为像济阳拗陷这样的富生烃拗陷^[17],也决定了该盆地纵向上和平面上的油气分布特征。

2.1.1 主力烃源岩丰度低决定了油气纵向上只能围绕烃源岩出现

中国小型断陷盆地的油气勘探实践表明,勘探区面积小是油气发现少的一个决定性因素,主力烃源岩丰度低则是决定油气发现量及其分布范围的另一个决定性因素。在小型断陷盆地中,一般不缺少油气输导体系,尽管油气生成总量有限,但在高丰度烃源岩的背景下,多在围绕有效烃源灶周边的圈闭中有较丰富的油气聚集,尤其是在断层的纵向输导作用下,在纵向上多个层系中都会发现油气聚集。而东部次盆地虽然纵向上油气显示层数较多,但多集中在紧邻上侏罗统烃源岩上、下的两套中、深层目的层,在上覆厚度超过

表 1 北黄海东部次盆地烃源岩有机相分类和特征

Table 1 Organic phase classification and characteristics of source rocks in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

划分指标	有机相 C	有机相 D/E	有机相 F
氢指数(HI)/(mg·g ⁻¹)	500~650	主体在 250~400	<200,主体在 150 左右
氢、碳原子比(H/C)	1.2~1.5	主体在 0.8~1	<0.7
有机显微组分类脂组含量(S+E)	>70%	主体在 20%~50%	主体<10%,以镜质组和惰质组为主
干酪根碳同位素($\delta^{13}C$)	-27‰~-32‰	-25‰~-26‰	>-25‰
有机碳含量(TOC)	>2%	主体在 1%~2%	上侏罗统为<1%的暗色泥岩,中侏罗统为不同 TOC 区间暗色泥岩
有机质类型	I 类	II 类	III 类
分布层位	上侏罗统中、上部	上侏罗统中、下部	上侏罗统中低丰度泥岩、中侏罗统泥岩

2 000 m 的古近系几乎未见油气显示,主力烃源岩丰度低应是决定性的一个因素。

2.1.2 有效烃源岩分布局限决定了油气平面分布范围

东部次盆地内的主体生烃凹陷——中部凹陷,面积约 2 000 km²,其中真正成熟有效的烃源岩面积约 400 km²,有效烃源岩面积/盆地面积仅为 8% 左右(图 4)。这一点无法与大型拗陷型盆地相比,如松辽盆地的主力烃源岩青山口组为拗陷最大湖泛阶段的稳定湖泊沉积物,有效烃源岩面积/盆地面积大于 98%;也无法与叠合型盆地相比,如四川盆地中共发育 6 套陆相和海相的烃源岩,烃源岩叠合范围可以覆盖整个勘探范围;即使与其他小型断陷盆地也无法相比,如古近纪断陷盆地南堡凹陷烃源岩面积/盆地面积可达 60% 以上。因为东部次盆地有效烃源岩分布局限,造成成熟烃源岩与盆地边缘构造圈闭之间缺乏有效的沟通,无法成为真正的油气运移指向。尽管盆地中北部和东部在喜马拉雅期形成了大量的构造圈闭,但由于远离生烃拗陷,油气难以聚集成藏^[18]。

从油气分布状态来讲,目前钻井揭示的东部次盆地中的油气分布以上侏罗统上部烃源岩为核心,油气显示纵向上围绕其上下,平面上限制于其内。凡是位于有效烃源岩之外的探井基本没有好的油气显示或者为干井;而位于有效生烃凹陷内部及紧邻生烃凹陷的探井,油气显示良好,并有多口井试油获得油流(图 4)。这也充分揭示了有限分布的烃源岩对油气成藏的控制作用。

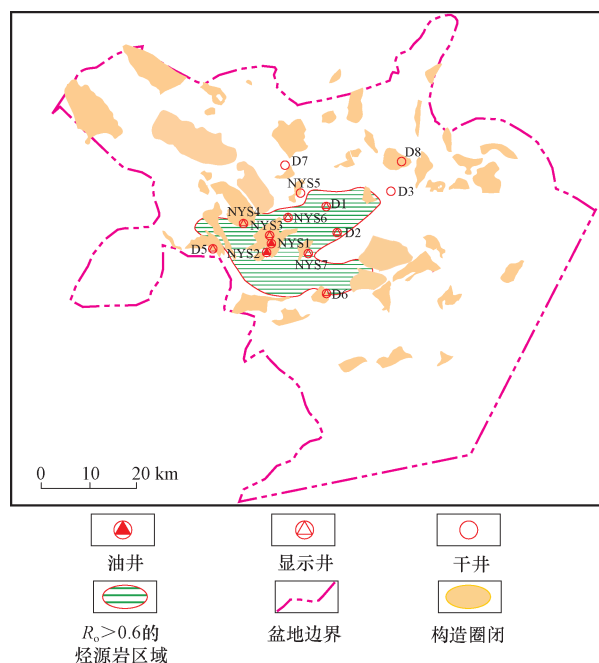


图 4 北黄海东部次盆地生烃拗陷与钻井油气显示

Fig. 4 Hydrocarbon generating depressions and oil and gas shows in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

2.2 早期缓慢浅埋—中期强烈隆升—晚期快速深埋的沉积过程影响了油气分布

沉积埋藏过程控制了一个含油气盆地的热史、烃源岩生排烃史和储层演化史。东部次盆地的构造演化历史比较复杂,特别是晚白垩世—始新世长达约 65 Ma 的抬升剥蚀,几乎超过了盆地形成演化历史的三分之一,是相当漫长的。

2.2.1 沉积埋藏过程对储层的影响

储层物性与沉积埋藏过程密切相关,早期快速深埋—晚期缓慢埋深或抬升的沉积埋藏过程将有利于地层中孔隙的保存,反之则不利于孔隙的保存^[19]。东部次盆地的主要目的层是上侏罗统和下白垩统的陆相碎屑岩储层,岩性主要为一套褐灰色、灰色、深灰色泥岩夹灰白色含砾砂岩、细砂岩、不等砾砂岩及粉砂岩^[20]。这两套地层当时的沉积速率较慢,特别是早白垩世,约 45 Ma 期间,沉积厚度约 1 000 m,沉积速率约 22 m/Ma,表现为缓慢埋藏阶段,而这种缓慢的埋藏过程将使机械压实和化学成岩作用得以充分进行,再加上东部次盆地真正的拗陷区面积较小,沉积物从物源区到盆地内没有经过长距离的搬运、分选和磨圆,造成这两套储层砂岩的结构成熟度和成分成熟度均较低。

研究表明,东部次盆地上侏罗统和下白垩统砂岩按碎屑成分的比例,大部分属于长石质岩屑砂岩、岩屑质长石砂岩和岩屑砂岩,砂岩中碎屑粘土矿物总体含量小于 5%,碎屑矿物的磨圆度次圆状—次棱角为主,分选性中等—差,砂岩的结构成熟度属次成熟期—成熟期,这就给储层经历后期的改造创造了不利条件。而进入新生代之后,特别是渐新世及之后的 32 Ma 中,地层沉积厚度近 3 000 m,沉积速率接近 100 m/Ma,表现为典型的高速沉积阶段,这种后期的快速深埋过程造成上侏罗统和下白垩统储层经历了二次成岩作用,孔、渗条件进一步变差。

成岩作用研究结果表明,东部次盆地中生界下白垩统上部地层压实作用已经进入到了中期,而下白垩统下部和上侏罗统则达到晚期,石英颗粒间出现了压溶,并存在自生石英加大边(图 5a, b),岩石颗粒接触紧密,原生孔隙残留少。东部次盆地中生界储层压实作用较强的主要原因是储层岩屑含量较高、分选较差、埋深较大且经历较长深埋时间。而长期的抬升剥蚀使下白垩统储层在晚白垩世—始新世,处于地下水补给深度,原生孔隙易被碳酸盐胶结,孔渗条件也会变差。东部次盆地的下白垩统储层经历了强烈的胶结作用,储层中胶结物含量较高,为 5%~35%(图 5c, d),碳酸盐矿物和粘土矿物是储层中最主要的胶结物,碳酸盐矿

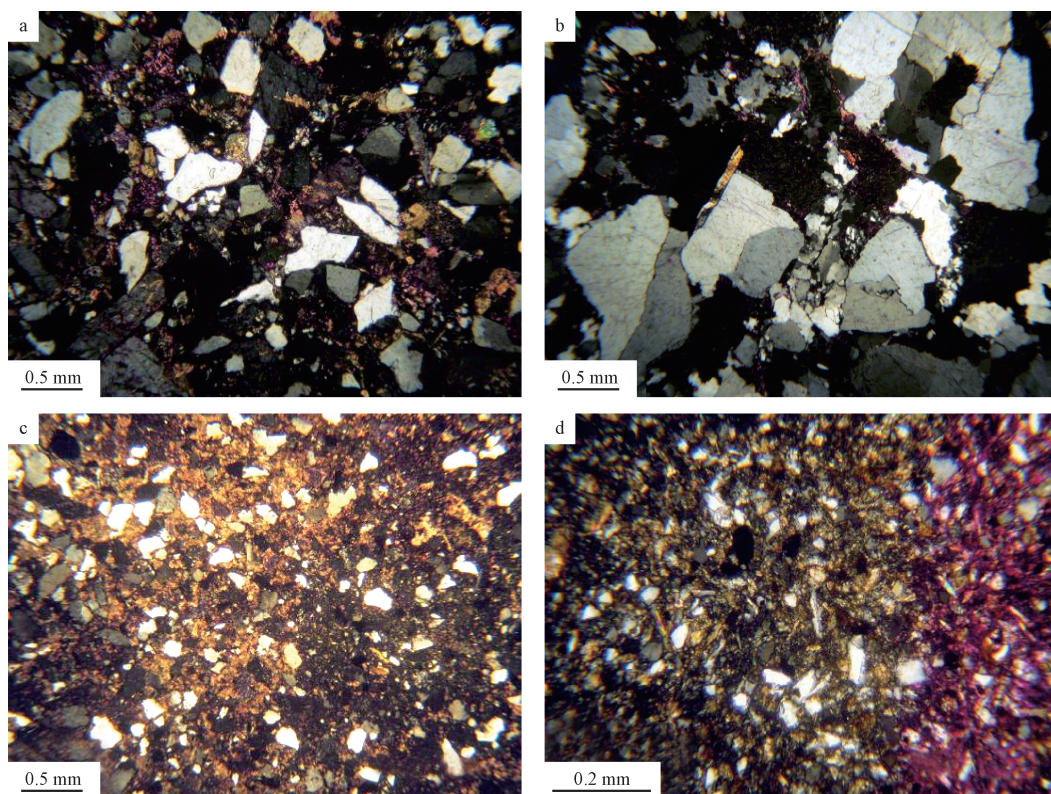


图5 北黄海东部次盆地下白垩统和上侏罗统储层压实作用和胶结作用镜下特征

Fig. 5 Arthroscopic characteristics of compaction and cementation in the Upper Jurassic and Lower Cretaceous reservoirs in the Eastern Sub-basin North Yellow Sea

- a. NYS1 井,埋深 2 335.8 m (K_1 上部),含钙中-粗砂岩,石英颗粒接触处为点-线状;b. NYS1 井,埋深 3 095.2 m (J_3 下部),砂质砾岩,石英颗粒接触处出现凹凸状线;c. NYS6 井,埋深 2 932 m (J_3),含白云泥质粉砂岩白云石胶结物含量在 10% 左右;d. NYS1 井,埋深 2 620.5 m (K_1),钙质细砂岩,方解石胶结物含量在 35% 左右

物主要以充填孔隙形式出现。强烈的胶结作用极大地破坏了孔隙结构,减少了储集空间,降低了储层物性;同时,由于碳酸盐矿物本身的不稳定性,也可能成为次生孔隙形成的物质基础^[21]。东部次盆地的沉积埋藏历史对储层起到了极大的破坏作用,致使主要目的层大面积低孔低渗,钻井岩心测试孔隙度多小于 10%,不利于油气聚集成藏,故寻找深部优质储层是勘探工作的重点。目前的研究认为,深部砂岩储层保持高孔隙度和高渗透率的主要机制包括原始沉积微相、颗粒包壳对石英胶结的抑制作用、早期原油聚集、早期超压及深埋溶蚀作用等影响机制^[22-24],研究区仍要加强有利储层的综合研究工作,其中次生孔隙发育带应受到更大的关注。目前要想在这样的储层中获得产量,必须要经过一定的储层改造。

2.2.2 储层演化史与油气充注史的匹配关系

东部次盆地中主要目的层中优质储层不发育,因而更应重视油气充注时间与储层演化阶段的配置关系。油源对比分析已证实,盆地主要勘探目的层目前发现的油气主要源于上侏罗统烃源岩中干酪根类型较好、母质以低等水生生物为主的湖相成熟烃源岩^[25]。

盆地模拟结果表明,现今最大埋深的东部次盆地早期未出现大规模生烃现象,因此晚白垩世—始新世的抬升剥蚀也未造成油气的大量溢散,不会对东部次盆地油气成藏有大的影响;经历了渐新世的深埋之后,两套烃源岩均在渐新世末开始大量生排烃,因此东部次盆地属于晚期运聚成藏,烃源岩的主排烃期为晚渐新世—现今。

储层成岩矿物及其中流体包裹体直接记录了沉积盆地油气成藏条件和过程,作为化石记录它们可用于重构油气藏形成和演化史^[26],利用储层流体包裹体均一温度,结合盆地古地温史和储层埋藏史,可以确定包裹体形成时的埋深及对应的地质时期,并由此得出油气运聚、成藏期^[27]。NYS2 井 3 390 ~ 3 400 m 油层段与油包裹体共生盐水包裹体的均一化温度 (T_h) 和冰融点温度 (T_m) 分析结果表明:所有油包裹体为同一个流体包裹体组合,捕获温度为 103 ~ 126 °C,说明石油充注主要为一期,结合 NYS2 井的埋藏热历史,认为东部次盆地石油充注主要发生在 20 Ma 以来,相当于渐新纪—现今(图 6),对应的储层埋藏深度约为 2 500 ~ 3 000 m。因为油气开始充注时间较晚,此时储层已经经历了再次深埋,即在烃源岩大量生排烃时,尽管生成

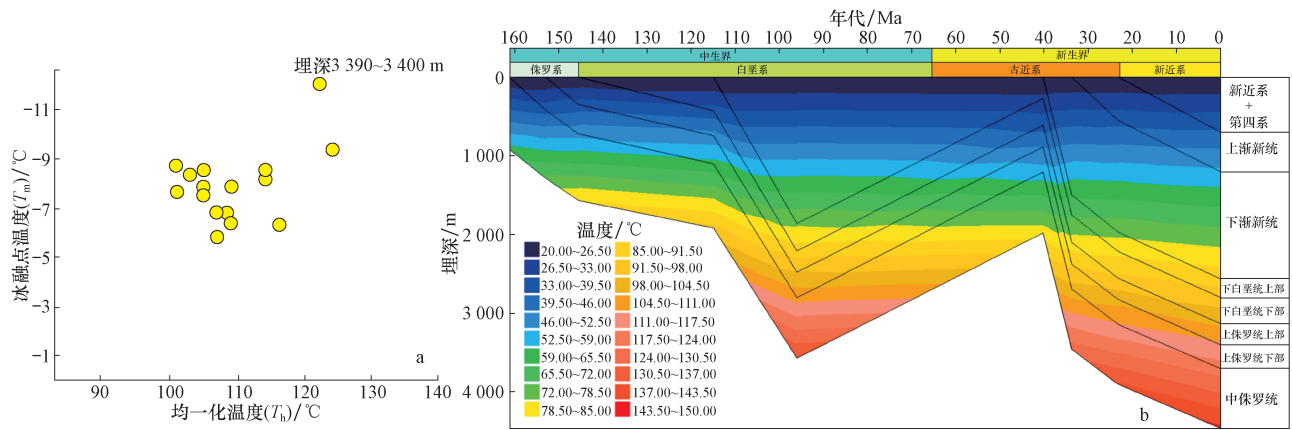


图 6 北黄海东部次盆地 NYS2 井油层段与油包裹体共生盐水包裹体 $T_h - T_m$ 关系(a)及埋藏史(b)

Fig. 6 $T_h - T_m$ diagram(a) of saline inclusions associated with oil inclusions in the oil layers of Well NYS2 and the burial history(b) in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

了一定的有机酸,造就一些次生孔隙带的发育,但经历了晚白垩世—始新世长期抬升剥蚀和喜马拉雅期的深埋过程,主要目的层碎屑岩的孔隙度和渗透率在压实、胶结等成岩作用影响下逐渐降低,油气的输导条件持续变差,最终导致目的层低孔低渗的情况,极大地限制了东部次盆地的油气聚集成藏,油气只能在相对物性较好的储层(可能为次生孔隙发育带或裂缝发育带)中聚集成藏。

3 油气富集特点

东部次盆地生烃中心主要位于中部坳陷的主体部位,生烃中心地层发育较全,半深湖—深湖区分布范围

较广,发育两套成熟烃源岩,为本区油气成藏提供了物质基础。但是受烃源岩丰度和分布范围的限制,东部次盆地油气难以长距离运移,呈“生烃中心控油、近源成藏”的特点。分布局限的中、低丰度烃源岩直接限制了东部次盆地勘探方向和勘探类型的选择。侯读杰指出^[28],优质烃源岩与隐蔽油气藏的关系很密切。如果一个地区没有优质烃源岩,就可以放弃隐蔽油气成藏的寻找。因此,东部次盆地只能是在临近生烃坳陷的二级构造带上寻找构造油气藏或者构造岩性复合型油气藏。盆地中形成较早的,继承性发育的构造带,特别是一些“凹中隆”构造,位于盆地的主物源方向,处于油气运移的主要指向上,且砂体发育,埋藏较浅,物性相对较好的构造,可以形成复式油气聚集带,成为油

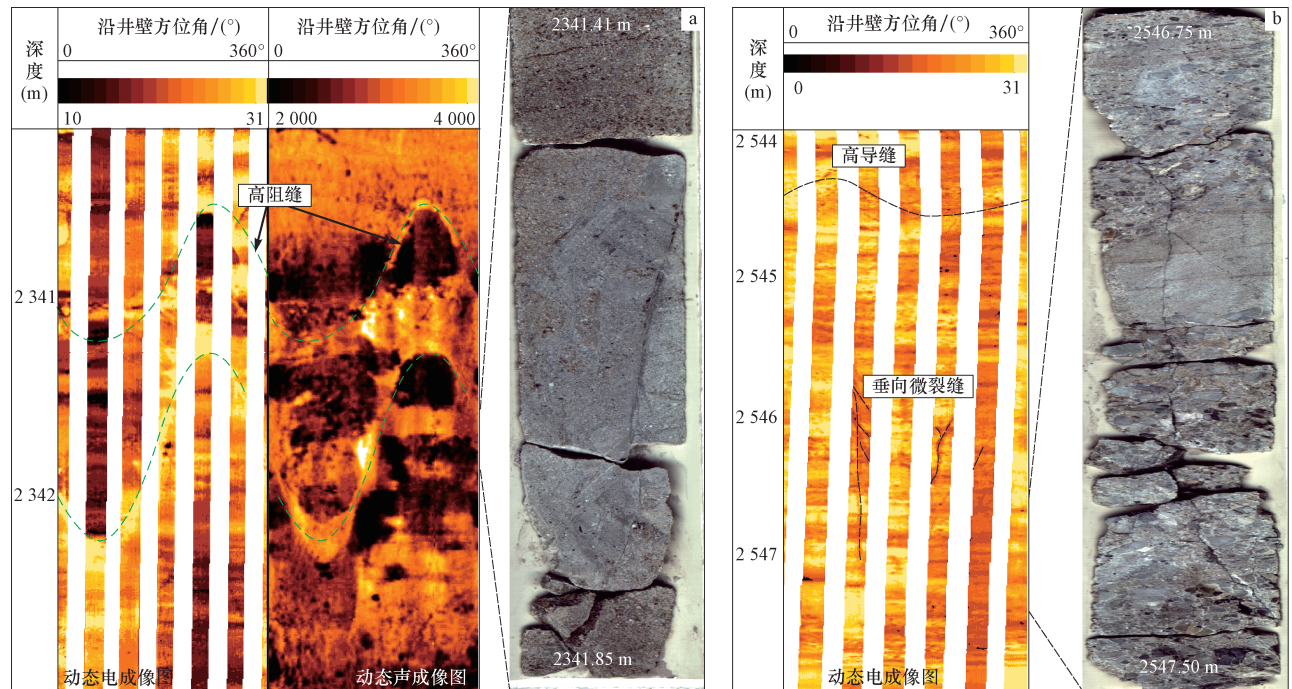


图 7 北黄海东部次盆地 NYS1 井下白垩统储层裂缝特征

Fig. 7 Fracture characteristics in the Lower Cretaceous reservoirs of Well NYS1 in the Eastern Sub-basin, North Yellow Sea

气聚集的主要场所。

受盆地沉积埋藏过程的控制,盆地内主要目的层多为低孔、低渗储层。在这种类型的储层条件下,裂缝对弥补储层物性差,促进油气运移及聚集有着重要意义^[29-30]。一方面裂缝的发育能够有效促进溶蚀作用,间接影响储层的物性;另一方面能够增强储层的渗透性,直接改善储层的物性。目前钻井的出油层位及油气显示部位均不同程度地发育裂缝,说明裂缝充当了中生界储层重要的储集空间(图7)。

裂缝系统多与宏观的断裂系统密切相关^[31-32]。燕山期东部次盆地主要受边界断裂的控制,主要区域构造活动方向为NW-SE向的拉张,形成的断裂多为构造拉张方向正交的NE-SW向体系。进入喜马拉雅期,构造运动的主要方向转变为SN向,形成大量的近EW向的断裂和构造。东部次盆地晚期深埋的沉积埋藏过程决定了烃源岩主要生排烃时期为晚渐新世—现今,在成熟有效烃源岩范围内,与生排烃时间配置较好的喜马拉雅期活动断裂为最佳油气储集部位。此外,喜马拉雅期继承性发展的燕山期断裂系统也是油气储集的重要部位。通过对东部次盆地内出油或油气显示构造部位活动性断裂的分析发现,上述断裂均有早期较为稳定、晚期快速活动的特征。因此,要想在东部次盆地寻找规模性的油气藏,一定要关注近主生烃灶的构造带上是否具备有效的输导体系与储集空间。

4 结论

1) 北黄海东部次盆地是一个小型断陷盆地,其内分布局限的中、低丰度烃源岩决定了东部次盆地油气分布范围,从根本上决定了东部次盆地近源成藏的油气成藏特征。

2) 东部次盆地所经历的早期缓慢浅埋—中期强烈隆升—晚期快速深埋的特殊沉积埋藏过程控制了东部次盆地烃源岩生排烃历史和储层演化史,造成东部次盆地大量生排烃和成藏事件均发生在新近纪,而受成岩作用等因素的影响,此时主要目的层储层已大面积低孔低渗,油气难以长距离运移,最终导致东部次盆地难以发生大规模的油气运聚成藏。

3) 北黄海东部次盆地的油气属于近源成藏,因此近主生烃灶的勘探目标风险小,要在临近主生烃灶、同时储集条件有利的二级构造带上寻找构造圈闭和构造—岩性复合圈闭为主的勘探目标。

致谢:感谢中国石油大学(北京)和中国地质大学(武汉)为本研究完成的大量分析测试工作。感谢文章写作过程中孙明亮、朱传庆副教授、王飞宇教授等提供的帮助与指导。感谢审稿人对文章提出的宝贵意见。

参 考 文 献

- [1] Massoud M S, Killop S D, Scott A C, et al. Oil source rock potential of the lacustrine Jurassic Sim Uuju Formation, West Korea Bay Basin; Part I: oil-source rock correlation and environment of deposition[J]. *Journal Petroleum Geology*, 1991, 14: 365-385.
- [2] Massoud M S, Scott A C, Killop S D, et al. Oil source rock potential of the lacustrine Jurassic Sim Uuju Formation, West Korea Bay Basin; Part II: nature of the matter and hydrocarbon-generation history[J]. *Journal Petroleum Geology*, 1993, 16: 265-283.
- [3] 李文勇, 李东旭, 夏斌, 等. 北黄海盆地构造演化特征分析[J]. *现代地质*, 2006, 20(2): 268-276.
Li Wenyong, Li Dongxu, Xia Bin, et al. Characteristics of structural evolution of the north Yellow Sea Basin[J]. *Geoscience Journal of Graduate School*, 2006, 20(2): 268-276.
- [4] 李文勇, 曾祥辉, 黄家坚. 北黄海中-新生代盆地: 残留盆地还是叠合盆地? [J]. *地质学报*, 2009, 83(9): 1269-1274.
Li Wenyong, Zeng Xianghui, Huang Jiajian. Meso-Cenozoic north Yellow Sea: Residual basin or superimposed basin? [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(9): 1269-1275.
- [5] 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论[J]. *地学前缘*, 2003, 10(特刊): 199-206.
Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng, et al. Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10: 199-206.
- [6] 胡朝元. “源控论”适用范围量化分析[J]. *天然气工业*, 2005, 25(10): 1-3.
Hu Chaoyuan. Research on the appliance extent of “source control theory” by semi-quantitative statistics characteristics of oil and gas migration distance[J]. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(10): 1-3.
- [7] 刘小平, 周心怀, 吕修祥, 等. 渤海海域油气分布特征及主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(4): 497-502.
Liu Xiaoping, Zhou Xinhui, Lu Xiuxiang, et al. Hydrocarbon distribution features and main controlling factors in the Bohai Sea waters[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 497-502.
- [8] 夏庆龙, 庞雄奇, 姜福杰, 等. 渤海海域渤中凹陷源控油气作用及有利勘探区域预测[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(4): 399-411.
Xia Qinglong, Pang Xiongqi, Jiang Fujie, et al. Control of source rock on hydrocarbon accumulation and prediction of favorable plays in the Bozhong Depression of the Bohai Sea waters[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 399-411.
- [9] 胡见义, 牛嘉玉. 渤海湾盆地油气聚集理论和勘探实践的再深化[J]. *石油学报*, 2001, 22(1): 1-5.
Hu Jianyi, Niu Jiayu. The further deepening of oil-gas accumulation-theory and exploratory practice of Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(1): 1-5.
- [10] 赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等. 陆相断陷盆地洼槽聚油理论及其在应用[J]. *石油学报*, 2011, 32(1): 18-24.
Zhao Xianzheng, Jin Fengming, Wang Quan, et al. Theory of hydrocarbon accumulation in troughs within continental faulted basins and its application[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 18-24.
- [11] 蔡乾忠. 横贯黄海的北朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(2): 185-196.
Cai Qianzhong. Relationship between Sino-Korean orogenic belt traversing Yellow Sea and basin evolution and hydrocarbon generation in North and South Yellow Sea basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 185-196.

- [12] 李廷栋,莫杰,许红. 黄海地质构造与油气资源[J]. 中国海上油气(地质),2003,17(2):79-84.
Li Tingdong, Mo Jie, Xu Hong. Geological structures and petroleum resources in Yellow Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2003,17(2):79-84.
- [13] Davies J H, Davies D R. Earth's surface heat flux[J]. Solid Earth, 2010,1:5-24.
- [14] 王斌,赵永强,罗宇,等. 塔里木盆地草湖凹陷热演化与生烃史——基于IES软件盆地模拟技术[J]. 石油实验地质,2010,32(6):605-609.
Wang Bin, Zhao Yongqiang, Luo Yu, et al. Thermal evolution and hydrocarbon generation in the Caohu Sag of the Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010,32(6):605-609.
- [15] 张功成,陈国俊,张厚和,等. “源热共控”中国近海盆地油气田“内油外气”有序分布[J]. 沉积学报,2012,30(1):1-19.
Zhang Gongcheng, Chen Guojun, Zhang Houhe, et al. Regular distribution of inside-oil fields and outside-gas fields Controlled by source rocks and heat in China offshore Basins[J]. Acta sedimentologica Sinica, 2012,30(1):1-19.
- [16] Pepper, Andrew S, Corvit, et al. Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: oil and gas generation from kerogen[J]. Marine and Petroleum Geology, 1995,12(3):291-319.
- [17] 朱光有,金强,张水昌,等. 陆相断陷盆地复式成烃及成藏系统研究——以济阳断陷沾化凹陷为例[J]. 石油学报,2004,25(2):12-18.
Zhu Guangyou, Jin Qiang, Zhang Shuichang, et al. Study on complex hydrocarbon accumulation and reservoir formation in the rift lacustrine basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004,25(2):12-18.
- [18] 黄曼宁,董月霞,庞雄奇,等. 南堡凹陷构造型油气藏分布主控因素及预测方法[J]. 石油与天然气地质,2012,33(5):695-704.
Huang Manning, Dong Yuexia, Pang Xiongqi, et al. Controlling factors of structural reservoir distribution and its prediction method in Nanpu Depression, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012,33(5):695-704.
- [19] Umar M, Friis H, Khan A S, et al. The effects of diagenesis on the reservoir characters in sandstone of the Late Cretaceous Pab Formation, Kirthar Fold Belt, southern Pakistan[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011,40:622-635.
- [20] 王强,王应斌,张友. 北黄海东部坳陷中生界储层特征[J]. 沉积与特提斯地质,2010,30(4):97-103.
Wang Qiang, Wang Yingbin, Zhang You. Characteristics of the Mesozoic reservoirs in the eastern depression of the Northern Yellow Sea Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2010,30(4):97-103.
- [21] 朱筱敏,王英国,钟大康. 济阳坳陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因[J]. 地质学报,2007,81(2):197-204.
Zhu Xiaomin, Wang Yingguo, Zhong Dakang. Pore type and secondary pore evolution of paleogene reservoir in the Jiyang Sag[J]. Acta Geologica Sinica, 2007,81(2):197-204.
- [22] 郝芳,邹华耀,方勇. 隐蔽油气藏研究的难点和前沿[J]. 地学前缘,2005,12(4):481-488.
Hao Fang, Zou Huayao, Fang Yong. The difficulties and frontiers of subtle oil/gas reservoir research[J]. Earth Science Frontiers, 2005,12(4):481-488.
- [23] 寿建峰,郑兴平,斯春松,等. 中国叠合盆地深层有利碎屑岩储层的基本类型[J]. 中国石油勘探,2006,11(1):11-16.
Shou Jianfeng, Zheng Xingping, Si Chunsong, et al. Basic types of high-quality clastic reservoirs deep-buried in superimposed basins in China[J]. China Petroleum Exploration, 2006,11(1):11-16.
- [24] 史建南,邹华耀,李平平,等. 准噶尔盆地永进地区油气成藏主控因素分析[J]. 中国矿业大学学报,2009,38(3):384-389.
Shi Jiannan, Zou Huayao, Li Pingping, et al. Analysis of main controlling factors for hydrocarbon accumulation in Yongjin Region of Junggar Basin[J]. Journal China University of Mining & Technology, 2009,38(3):384-389.
- [25] 刘金萍,王嘹亮,简晓玲,等. 北黄海盆地中生界原油特征及油源初探[J]. 新疆石油地质,2013,34(5):515-518.
Liu Jinping, Wang Liaoliang, Jian Xiaoling, et al. Crude oil characteristics and oil-source analysis of Mesozoic in the north Yellow Sea Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013,34(5):515-518.
- [26] 王飞宇,金之均,吕修祥,等. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J]. 地球科学进展,2002,17(5):754-761.
Wang Feiyu, Jin Zhijun, Lu Xiuxiang, et al. Timing of petroleum accumulation: theory and new method[J]. Advance in Earth Sciences, 2002,17(5):754-761.
- [27] 赵靖舟,李启明. 塔里木盆地克拉通区海相油气成藏期与成藏史[J]. 科学通报,2002,47(增刊):116-121.
Zhao Jingzhou, Li Qiming. Timing and history of marine hydrocarbon accumulation in Tarim craton[J]. Chinese Science Bulletin, 2002,47(S1):116-121.
- [28] 侯读杰,张善文,肖建新,等. 济阳坳陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析[J]. 地学前缘(中国地质大学(北京);北京大学),2008,15(2):137-146.
Hou Dujie, Zhang Shanwen, Xiao Jianxin, et al. The excellent source rocks and accumulation of stratigraphic and lithologic traps in the Jiyang depression, Bohai Bay Basin[J]. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing; Peking University), 2008,15(2):137-146.
- [29] 杨华,刘显阳,张才利,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组低渗透岩性油藏主控因素及其分布规律[J]. 岩性油气藏,2007,19(3):1-6.
Yang Hua, Liu Xianyang, Zhang Caili, et al. The main controlling factors and distribution of low permeability lithologic reservoirs of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007,19(3):1-6.
- [30] 任站利,李文厚,梁宇,等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素[J]. 石油与天然气地质,2014,35(2):190-198.
Ren Zhanli, Li Wenhou, Liang Yu, et al. Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(2):190-198.
- [31] 李映涛,袁晓宇,叶宁,等. 塔里木盆地玉北地区中-下奥陶统储集体断裂与裂缝特征[J]. 石油与天然气地质,2014,35(6):893-902.
Li Yingtao, Yuan Xiaoyu, Ye Ning, et al. Fault and fracture characteristics of the Middle-Lower Ordovician in Yubei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(6):893-902.
- [32] 白斌,邹才能,朱如凯,等. 四川盆地九龙山构造须二段致密砂岩储层裂缝特征、形成时期与主控因素[J]. 石油与天然气地质,2012,33(4):526-535.
Bai Bin, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. Characteristics, timing and controlling factors of structural fractures in tight sandstones of the 2nd member of Xujiahe Formation in Jiulong Mountain structure, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012,33(4):526-535.

(编辑 张玉银)