

文章编号:0253-9985(2012)02-0174-09

辽中凹陷 JZ20-A 构造油气成藏特征

李建平, 郭永华, 周东红

[中海石油(中国)有限公司 天津分公司 勘探开发研究院, 天津 塘沽 300452]

摘要:辽中凹陷分布有4套烃源岩,东营组二段下亚段、东营组三段、沙河街组一段与沙河街组三段,除东营组二段下亚段多处于未-低熟阶段外均为有效烃源岩。辽中凹陷北注和自身的沙河街组三段烃源岩为JZ20-A油气田的主要供油区和油气来源。沙河街组三段烃源岩生烃潜力大,有机质丰度和成熟度较高。通过JZ20-A井主要产层段的包裹体分析,确定了JZ20-A油气田的油气成藏期次,建立了JZ20-A油气田的油气成藏模式。研究表明,包裹体均一温度分布于120~140℃。油气的主要充注期在距今5 Ma以来明化镇组沉积末期,在东营组沉积时期(约27 Ma)也有少量的油气充注。JZ20-A各油气藏充注程度高,包裹体GOI值(含油流体包裹体丰度指标)均大于5%。油气成藏表现为接力供烃,高压泥岩双重封堵,油气叠层式成藏的特征。

关键词:生物标志化合物;油气充注;成藏模式;成藏特征;辽中凹陷

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Characteristics of hydrocarbon accumulation in JZ20-A structure in Liao Zhong Sag

Li Jianping, Guo Yonghua and Zhou Donghong

(Exploration and Production Research Institute, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract: The lower 2nd member and 3rd member of the Dongying Formation, the 1st and 3rd member of the Shahejie Formation are four source rocks in Liao Zhong Sag. The latter three are active source rocks, but the lower 2nd member of the Dongying Formation is immature to lowly mature. The 3rd member of the Shahejie Formation in the northern subsag of the Liao Zhong Sag is the main source rocks for the JZ20-A oilfield. The source rocks in the 3rd member of the Shahejie Formation are of high organic content and maturity, thus have great potential for hydrocarbon generation. By analyzing the inclusion of the major pay zones in the well JZ20-A, we performed the timing of the hydrocarbon generation and established the hydrocarbon accumulation model in the JZ20-A oilfield. The results indicate that the homogenization temperature of the inclusion is 120–140℃. The hydrocarbon charging mainly occurred at 5 Ma ago when the Minghuazhen Formation was deposited. Hydrocarbon charging also happened at 27 Ma ago when the Dongying Formation deposited. All the reservoirs of JZ20-A oilfield are high in hydrocarbon abundance. The GOI value of the inclusion is above 5%. The characteristics of the hydrocarbon accumulation are relay-type multiple stage hydrocarbon charging, over-pressured shale sealing on both sides and oil/gas accumulation in superimposed multiple layers.

Key words: biomarker, hydrocarbon charging, accumulation model, accumulation characteristics, Liao Zhong Sag

辽东湾地区位于渤海湾盆地东北部,是下辽河裂谷盆地由陆地向渤海海域的自然延伸区域。

其内的大多数油气田均围绕着一一条北北东向展布的大型走滑断裂带——郯庐断裂带分布,对油气

收稿日期:2011-05-07;修订日期:2012-02-28。

第一作者简介:李建平(1964—),男,教授级高级工程师,沉积、储层、油气成藏。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05023-001-004)。

和烃源岩的分布起着重要的控制作用。辽中凹陷连同渤中凹陷、黄河口凹陷被证实为渤海海域3大重要的富生烃凹陷^[1-4],能够为凹中隆、斜坡带、凸起带的圈闭提供充足的油气源。辽中凹陷 JZ20-A 油气田是该凹陷内具有超压特征的代表性油气藏,位于辽东湾北部地区,构造上处于辽西低凸起北倾没端,南与 JZ20-2 油气藏相接,东临辽中凹陷北洼,西与辽西凹陷北洼相连(图1)。研究其油气来源和成藏特征,可为在辽东湾北部地区加强油气勘探和获得新的突破提供科学依据。

1 烃源岩特征与油气来源

前人对辽西低凸起进行了油气源对比^[5],整体上辽西低凸起中北部具有双向油源、不对称供烃的特征,即在低凸起上的油气田存在辽西和辽中凹陷两个

供油区,其中,北部地区以辽中凹陷的烃源岩贡献为主。经钻井和地震等资料显示,位于辽西低凸起北倾没端的 JZ20-A 油气田的烃源岩主要来自于中深层的沙(河街组)三段(E_2s^3)、沙一段(E_2s^1)和东(营组)三段(E_3d^3)及东二下亚段($E_2d^{2(F)}$)4套烃源岩。根据构造特征差异和相对位置可将辽中和辽西凹陷分别划分为北、中、南3个次洼。考虑到 JZ20-A 构造所处的位置,本文着重对辽中北洼、辽西北洼和 JZ20-A 构造区内4套烃源岩特征进行对比与分析。

1.1 有机质丰度

评价烃源岩有机质丰度的参数有很多,本次主要选取了有机碳含量(TOC)、生烃潜量($S_1 + S_2$)、氯仿沥青“A”含量和总烃含量4个指标,分别对辽西凹陷、辽中凹陷的北部以及 JZ20-A 地区进行统计和评价(表1),以分析他们各套烃源岩

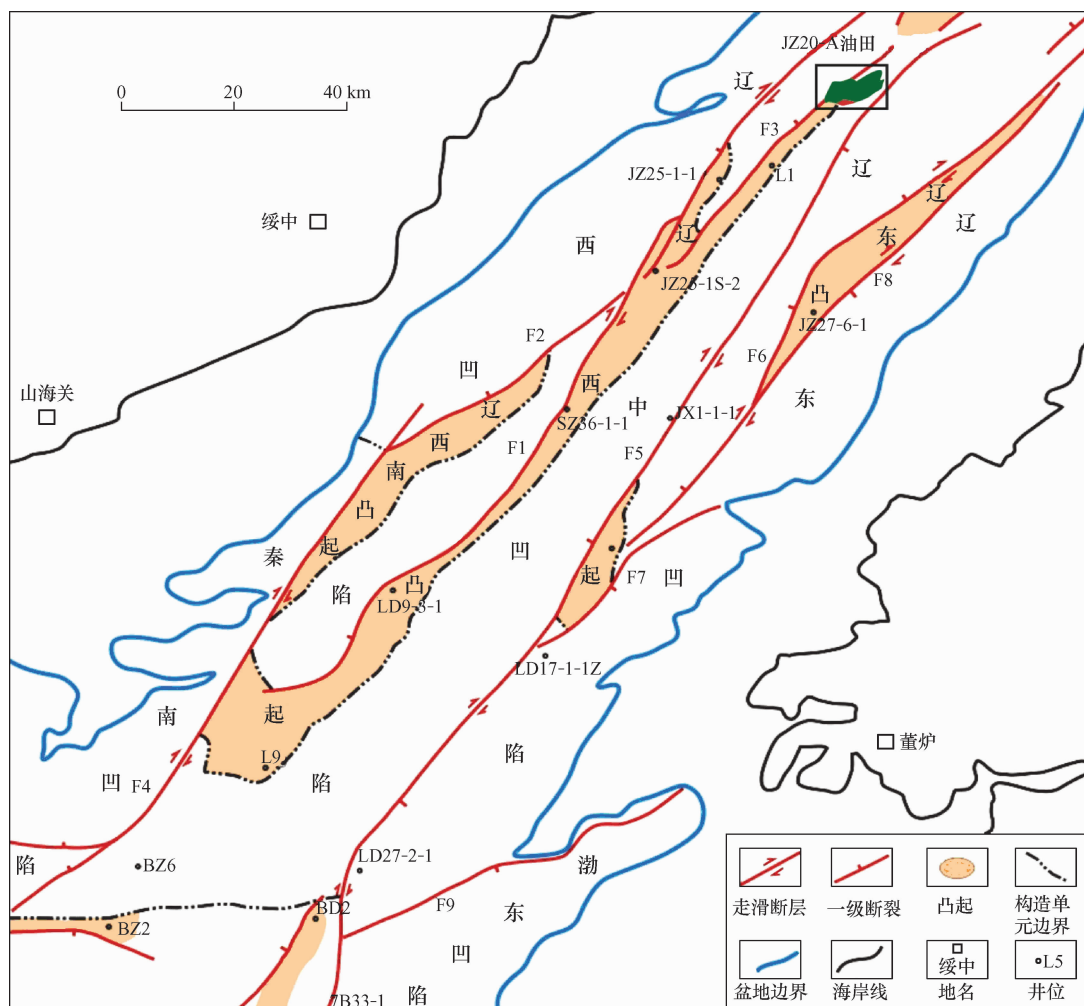


图1 辽中凹陷 JZ20-A 构造位置

Fig. 1 Location of JZ20-A structure in Liaozhong Sag

表1 JZ20-A、辽中北洼和辽西北洼各套烃源岩有机质丰度参数

Table 1 Parameter of organic matter abundance of source rocks in JZ20-A structure and the northern sub-sags of Liaozhong and Liaoxi Sags

层位	构造带	TOC/%			$(S_1 + S_2)/(mg \cdot g^{-1})$			氯仿沥青“A”含量/%			总烃含量/ 10^{-6}		
		范围 平均值	评价	样品数/ 个	范围 平均值	评价	样品数/ 个	范围 平均值	评价	样品数/ 个	范围 平均值	评价	样品数/ 个
东二段下亚段	JZ20-A	0.31~1.94 1.25	好	107	0.72~11.94 2.78	中等	98	0.024 7~0.079 2 0.049 7	差	4	86.75~232.05 170.72	较差	4
	辽中北洼	0.18~2.13 1.04	好	77	0.14~9.72 2.51	中等	79	0.015 1~0.433 0 0.095 1	中等	81	59.00~1 754 481	中等	80
	辽西北洼	0.49~1.73 0.92	中等	25	0.36~6.51 2.02	中等	31	0.017 0~0.261 0 0.063 9	中等	26	56.47~1 829.61 357.28	中等	23
东三段	JZ20-A	0.39~2.58 1.79	好	146	1.53~17.55 8.29	好	154	0.057 5~0.553 8 0.247 9	极好	26	206.37~3 369.00 1 010.59	极好	26
	辽中北洼	0.42~3.07 1.36	好	76	0.61~11.27 4.63	中等	76	0.045 2~0.933 0 0.256 6	极好	74	230.00~7 488.00 1 799.00	极好	74
	辽西北洼	0.69~3.77 1.51	好	75	0.66~20.70 5.26	中等	75	0.020 1~0.688 1 0.157 5	好	56	59.70~4 684.46 747.02	好	56
沙一段	JZ20-A	1.56~3.46 3.06	极好	22	0.50~28.47 12.62	极好	47	0.337 1~1.144 3 0.852 1	极好	5	1 461.26~6 694.16 4 570.29	极好	5
	辽中北洼	0.39~1.91 1.14	好	8	0.65~11.88 3.74	中等	8	0.045 0~0.286 3 0.253 5	极好	11	312.00~1 803.00 780.00	好	11
	辽西北洼	1.23~3.56 2.00	极好	16	4.29~20.42 9.00	好	13	0.025 8~1.141 5 0.228 3	极好	32	98.30~5 520.98 1 054.12	极好	32
沙三段	JZ20-A	0.21~3.00 1.58	好	103	1.34~10.62 4.85	中等	98	0.141 4~0.594 8 0.266 4	极好	19	532.45~4 401.52 1 642.25	极好	19
	辽中北洼	0.50~1.56 0.95	中等	7	0.64~4.60 2.63	中等	7	0.033 4~0.210 3 0.072 5	中等	13	165.00~1 518.00 500.00	中等	13
	辽西北洼	0.23~4.48 1.88	好	49	0.07~24.71 10.16	极好	49	0.026 8~1.316 6 0.412 3	极好	45	152.76~6 678.96 2 315.23	极好	45

的有机质丰度特征。

虽然各烃源岩存在取样数量上的差异,但整体上还是能够反映有机质丰度的高低。辽东湾北部地区具有较高的有机质丰度(表1)。各烃源岩指标均表明辽西北洼的有机质丰度优于辽中北洼,而JZ20-A地区比东、西两凹陷北洼更好,所以位于低凸起上的JZ20-A区油源丰富,不仅可以接受凹陷的持续供烃,其本身的烃源岩也可以供油。就4套烃源岩而言,尽管辽中北洼有机质丰度随着深度的增加呈现出了变差的趋势,但仍然要比浅部的东二下亚段好。所以,纵向上烃源岩的有机质丰度以中、深层的沙河街组更优,是辽东湾北区最重要的烃源岩。

1.2 有机质类型

有机质类型是烃源岩评价重要的内容。为了确定各套烃源岩的有机质类型,我们分别选取了JZ20-A区、辽中北洼和辽西北洼内典型井的有机质显微组分及热解数据进行分析。结果显示

(图2),3个构造区烃源岩均主要发育Ⅱ₁和Ⅱ₂混合型有机质,即以生油为主,仅在东营组浅部地层有少量天然气生成,具富氢贫氧特征,且随深度增加,烃源岩有机质类型呈现较为明显的变好趋势。这一点在辽西北洼得到了较好的体现。

1.3 有机质成熟度

有机质成熟度主要用镜质体反射率(R_o)指标定量评价。将JZ20-A与邻区的各套烃源岩对比可知:成熟度东高西低。本区和辽中北洼大多数烃源岩已进入生烃门限(门限深度分别在2 100 m和2 550 m左右),而辽西北洼 $E_3d^{(下)}$ 尚未成熟,烃源岩成熟度普遍较低。纵向上烃源岩整体表现为随深度的增加 R_o 逐渐增大的特征。以JZ20-A为例,东营组烃源岩基本处于未熟-低熟阶段, E_2s^1 已进入大量生油的高峰期, E_2s^3 烃源岩则处于成熟油和凝析油的生成阶段(图3)。JZ20-A主要为含凝析油油气藏,说明 E_2s^3 烃源岩贡献最大。

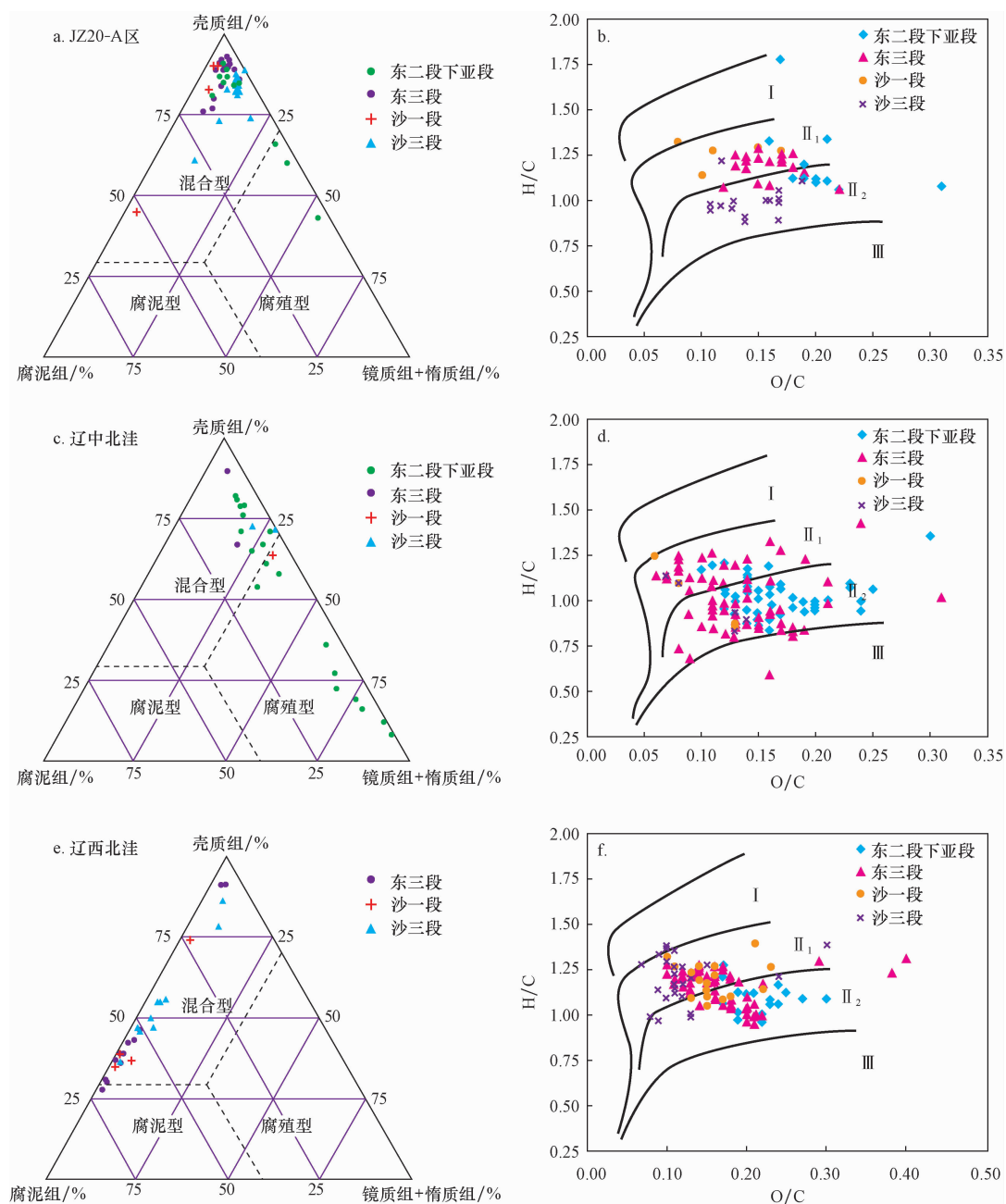


图2 各构造区烃源岩显微组分和干酪根元素分析

Fig. 2 Element analysis of macerals and kerogen in the source rocks in each structural zones

a, c, e. 烃源岩显微组分; b, d, f. 干酪根元素分析

1.4 生物标志化合物特征及油气源对比

1.4.1 烃源岩生物标志化合物特征

烃源岩的生物标志化合物特征主要包括烃源岩中有机质的来源、沉积时的水体环境和有机质成熟度等方面。对应的重要指示参数及意义如下^[6-8]: C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷相对含量, 主要反映烃源岩

中水生生物与陆源有机质的相对大小, 一般 C_{27} 甾烷来源水生生物, C_{29} 甾烷来源陆源有机质; γ -蜡烷指数 (γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷), 能够反映源岩沉积环境中水体的盐度特征, 高的 γ -蜡烷指数可以指示源岩沉积水体的高盐度环境; C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S + 20R)$ 与 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 值是评判烃源岩成熟度的重要参数, 值越大代表成熟度越高 (图4)。

JZ20-A 区生标特征: 以 JZ20-A-1 井为

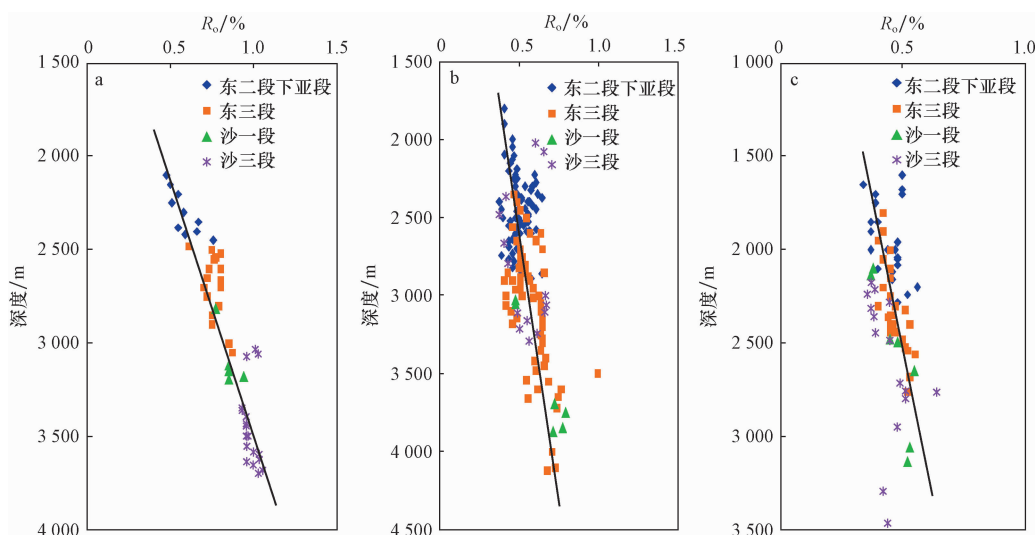


图3 JZ20-A、辽中北洼和辽西北洼烃源岩镜质体反射率 R_o 与深度的关系

Fig.3 Vitrinite reflectance (R_o) vs. depth of JZ20-A structure, northern sub-sag of Liaozhong sag and northern sub-sag of Liaoxi sag
a. JZ20-A; b. 辽中北洼; c. 辽西北洼

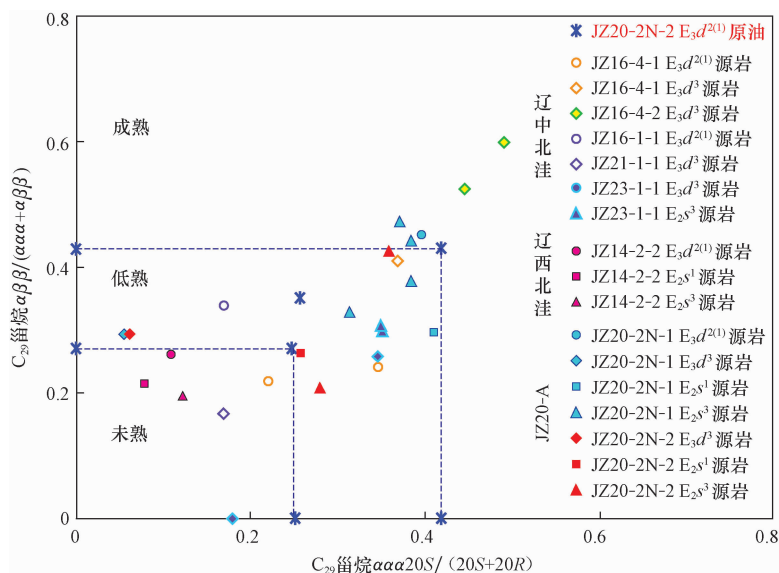


图4 JZ20-A原油与邻近源岩 C_{29} 甾烷异构体成熟度对比

Fig.4 Maturity correlation of C_{29} sterane isomer between crude oil from JZ20-A and source rocks nearby

例。① $E_3d^{2(下)}$ 与 E_3d^3 烃源岩 $18\alpha-22,29,30$ -三降藿烷(Ts)与 $17\alpha-22,29,30$ -三降藿烷(Tm)含量比较接近, γ 蜡烷含量极低,有机质形成于淡水-微咸水。 C_{27},C_{29} 重排甾烷含量极低,4-甲基甾烷含量低, C_{27},C_{28},C_{29} 甾烷的构型呈不对称的“V”字型分布;② E_2s^1 烃源岩(图5d)Ts<Tm,奥利烷含量相对较低, γ -蜡烷含量极高,为盐湖环境形成的有机质, C_{27},C_{29} 重排甾烷含量低,4-甲基甾烷含量高,规则甾烷 $C_{27}>C_{28}<C_{29}$,表现为近“L”

构型;③ E_2s^3 源岩(图5c)成熟度高,生标特征为高Ts低Tm、高奥利烷、高 γ -蜡烷、高4-甲基甾烷,为微咸水沉积环境, C_{27} 重排甾烷含量高、 C_{29} 重排甾烷含量低, C_{27},C_{28},C_{29} 甾烷构型为 C_{27} 优势的“L”型或不对称“V”字型。

辽中北洼生标特征:JZ27-2-2井 $E_3d_2^{2(下)}$ 和JZ16-4-2井 E_3d^3 段3540 m处源岩 γ -蜡烷含量较低,呈 $C_{27}>C_{28}<C_{29}$ 的不对称“V”字型分布,4-甲基甾烷丰度中等(图5f);从 C_{29} 甾烷异构体

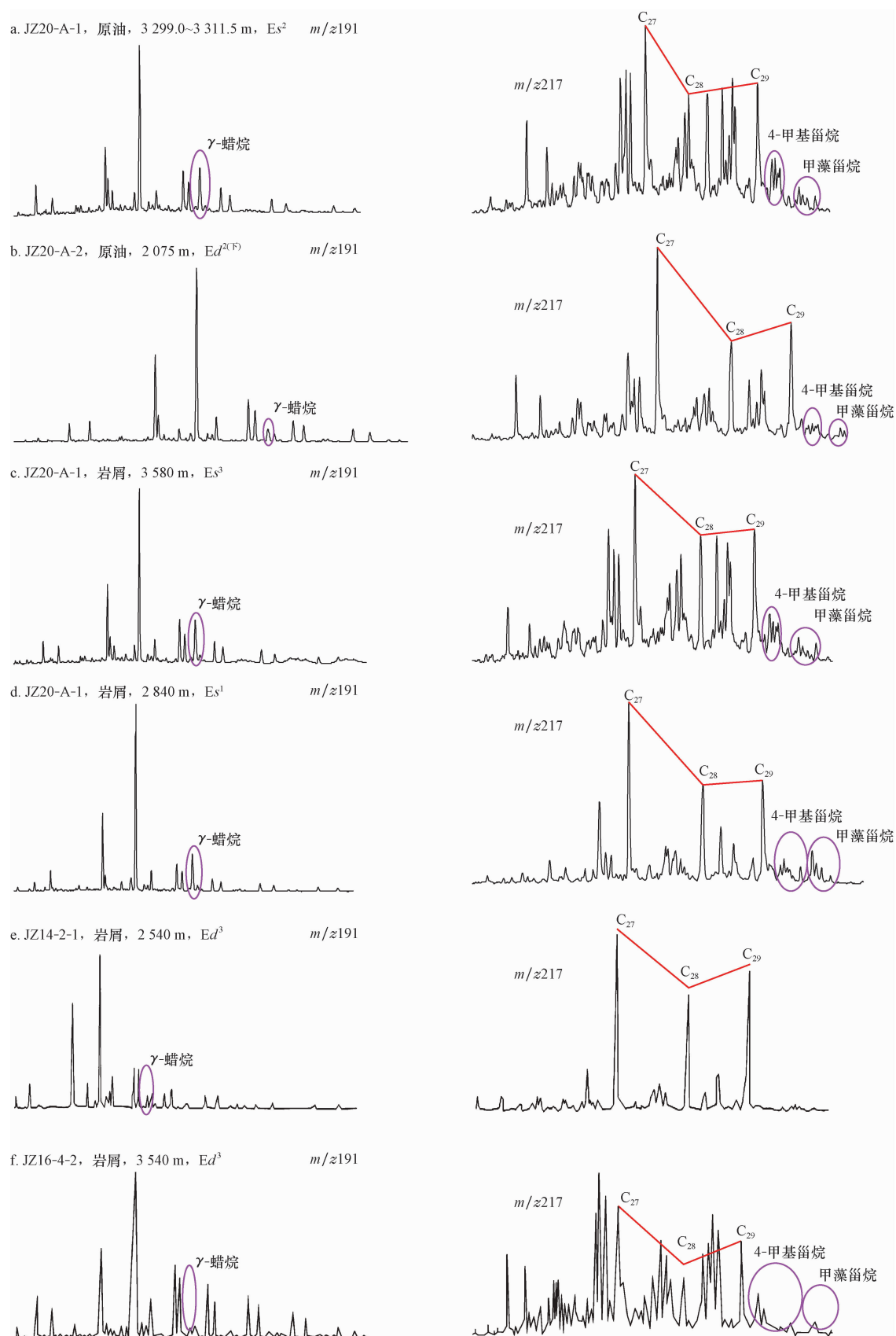


图5 JZ20-A 原油和烃源岩甾、萜烷指纹图谱对比

Fig. 5 Fingerprint correlation of steranes and terpanes between crude oil and source rocks of JZ20-A

成熟度图上(图4)可以看出源岩大部分已成熟,只有部分东营组还处于未熟阶段。因未获得沙河街组样品,故不做其生标特征分析。

辽西北洼生标特征:①JZ14-2-1井 E_3d^3 段2540 m处(图5e)源岩表现为低的 γ -蜡烷、甲藻甾烷和4-甲基甾烷丰度, C_{27} , C_{28} , C_{29} 规则甾烷呈不对称的“V”型分布;②JZ9-3-1井2126 m和JZ20-1-1井2820~2845 m处的 E_2s^1 源岩具有高 γ -蜡烷、低4-甲基甾烷而甲藻甾烷含量丰富的特征,一般甾烷 $C_{27} > C_{28} < C_{29}$,呈“L”型分布;③JZ9-3-1和JZ14-2-1井 E_2s^3 中段烃源岩具有中等 γ -蜡烷丰度、较低4-甲基甾烷、高甲藻甾烷的分布特点,而下段与中段有明显的差别,表现为低 γ -蜡烷,高4-甲基甾烷特征,为淡水深湖相沉积有机质。

1.4.2 JZ20-A油源对比

从JZ20-A构造 $E_3d^{2(下)}$ 与沙河街组二段(E_2s^2)原油甾烷化合物特征分析(图5a,b)可以看出,二者原油的来源存在差异。 E_2s^2 原油形成于微咸水-半咸水沉积环境,有机质为富含藻类的低等水生生物。它与自身 E_2s^3 烃源岩具有很好的可比性, $T_s > T_m$, γ -蜡烷含量较高,甾烷系列中重排甾烷含量较高,具有以 C_{27} 甾烷占优势的“\”型或不对称的“V”型分布模式,4-甲基甾烷和甲藻甾烷含量均较高。JZ20-A构造原油饱和烃色谱分析表明该区原油正构烷烃保存完整,没有生物降解的迹象,主峰碳靠近低碳数,具成熟原油特征。JZ20-A-2井 $E_3d^{2(下)}$ 原油则是来源于淡水沉积环境中水生生物有机质形成的烃源岩,与JZ14-2-1井2540 m E_3d^3 烃源岩对比关系较好。藿烷系列 T_s 与 T_m 相当, γ -蜡烷极低,甾烷系列中 C_{27} 甾烷含量较高, C_{27} , C_{28} , C_{29} 甾烷为不对称的“V”型分布模式,4-甲基甾烷和甲藻甾烷含量也较低。 C_{29} 甾烷异构体成熟度图上反映 $E_3d^{2(下)}$ 的原油为低熟原油。

综上所述,JZ20-A及邻区烃源岩生烃条件良好,纵向上多套源岩先后成熟,表现为“接力供烃”的显著特征。 $E_3d^{2(下)}$ 原油主要来源于 E_3d^3 烃源岩, E_2s^2 原油则是 E_2s^3 与少量 E_2s^1 烃源岩的产物。因辽西北洼烃源岩现今成熟度不太理想,对研究区含凝析油油气藏的贡献较小。所以,辽中

北洼和自身构造区是JZ20-A油气藏主要的供油区, E_2s^3 烃源岩为主要的生油层段。

2 油气生成与充注

2.1 油气的生成

Jerry和Alan(1990)提出的EASY% R_o 化学动力学模型为现在热演化史研究中最常用的模型^[9]。根据实钻岩性剖面 and 实测的镜质体反射率剖面,利用EASY% R_o 化学动力学模型恢复了JZ20-A-1井的生烃史和热演化史(图6)。①东营组二段(E_3d^2)沉积末期(距今约27.4 Ma), E_2s^3 烃源岩 R_o 超过0.6%,准备进入生烃高峰阶段; E_2s^2 和 E_2s^1 烃源岩 R_o 值基本上分布在0.55%~0.61%,处于生油早期阶段;而 E_3d^3 除了底部的烃源岩进入了生烃门限,其余大多还处于未熟阶段。②东营组一段(E_3d^1)沉积期(距今约24.6 Ma), E_2s^3 烃源岩 R_o 最大值为0.8%,开始大量生烃, E_2s^1 和 E_3d^3 烃源岩也进入生油门限,开始生油。③ E_3d^1 末期构造发生抬升,之后随着新地层的不断沉积,各套烃源岩又再次生烃。目前 E_2s^3 以生成凝析油气为主,且其埋深较 E_3d^1 沉积末期时更大,具有更强的生烃潜力。

2.2 油气的充注

Juergen和England(1989)及England和Mackenzie(1989)等提出利用包裹体的成分、相态、温度等信息来标定油气充注史及油气成藏时间^[10-11]。JZ20-A油气成藏期次的研究主要依靠包裹体的相态特征和均一温度、结合埋藏史和热演化史来确定的。JZ20-A-1井 E_2s^3 (3561 m)包裹体均一温度主要分布在120~140℃,热史演化图(图6)显示,存在两期油气充注:① E_3d^2 末期— E_3d^1 初期(距今约27 Ma),具有油气充注量少、充注时间短的特点;②距今5 Ma—现今,这是 E_2s^3 烃源岩进行生排烃的最主要时期。对该井包裹体进行了GOI值(含油流体包裹体丰度指标)测算,结果显示GOI值全都超过了5%,油气充注程度高。 E_2s^2 段3299~3311 m经试油为高产油气层,这与其74%的GOI相对应。由于 E_2s^3 段GOI值也较高,推测其储层中可能存在一定量的油气聚集。

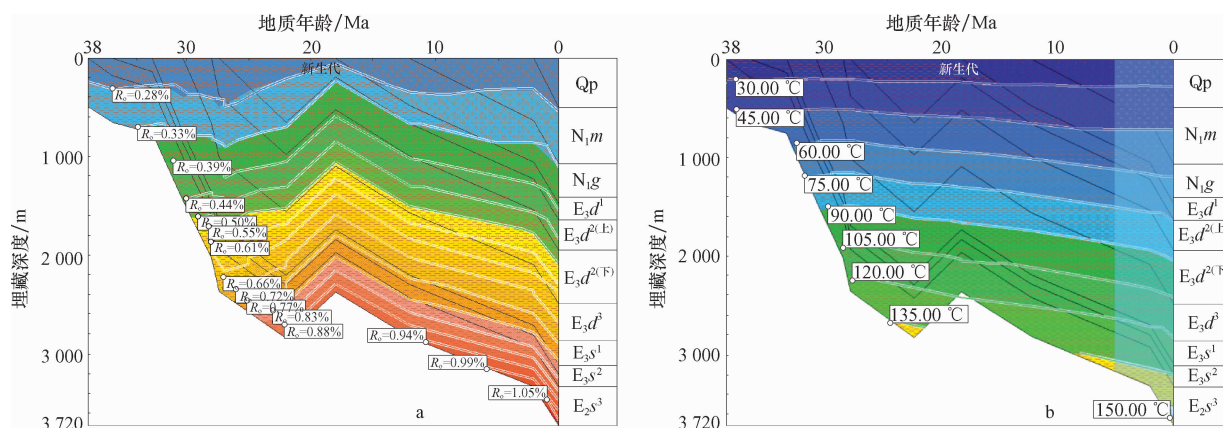


图6 JZ20-A-1 单井生烃史(a)和热演化史(b)

Fig. 6 Hydrocarbon generation history (a) and thermal evolution history (b) of the source rocks in well JZ20-A-1

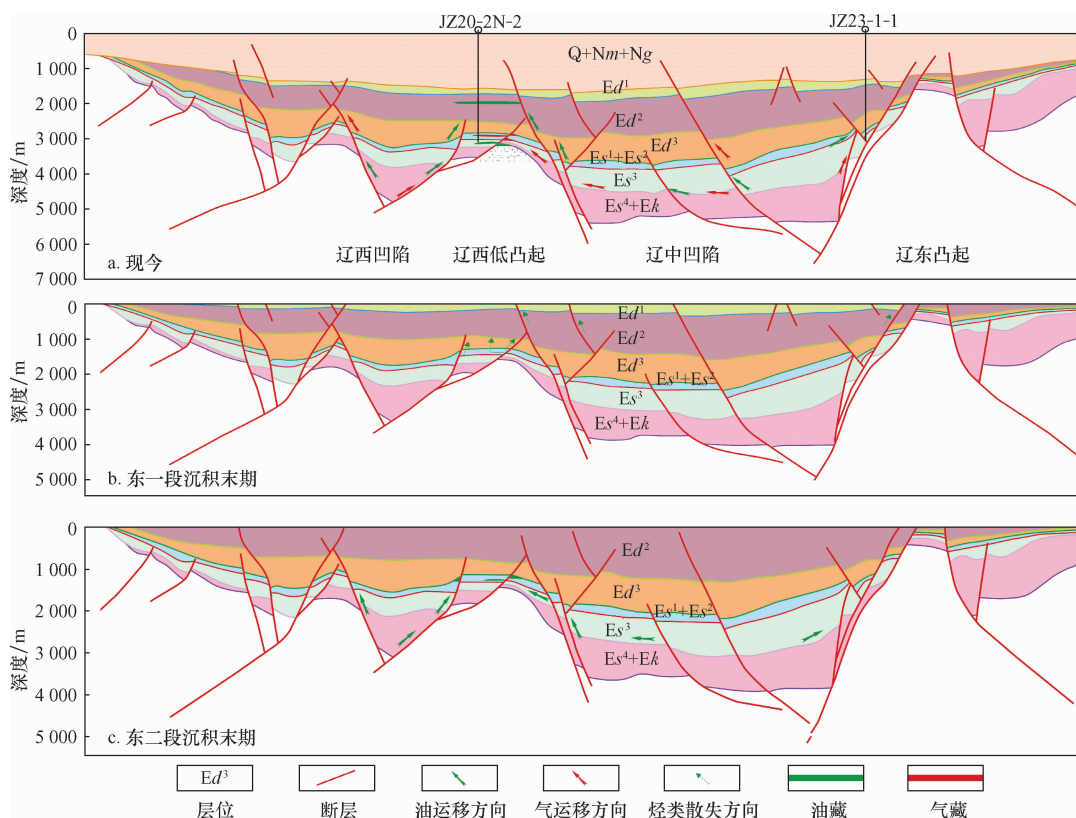


图7 JZ20-A 油气田油气成藏模式

Fig. 7 Hydrocarbon accumulation model of JZ20-A oil/gas field

3 油气成藏过程与成藏特征

油气的成藏过程主要与构造的演化和烃源岩的生烃史有关,渤海盆地新生代的构造演化分为断陷期、断拗期和拗陷期^[12-15],JZ20-A 油气成藏主要发生在后两个时期。通过东三段沉积末期到现今的平衡剖面分析,结合古近系的烃源岩成熟

度演化史,建立了该区的油气成藏模式(图7)。

① E_3d^3 沉积期末(约 30.5 Ma 前),JZ20-A 已形成了早期的背斜、断背斜圈闭,而此时 E_3d^3 — E_2s^3 的各套烃源岩尚未达到生烃门限,无油气生成,这种形成时间早于烃类生成的圈闭,对后期油气的有效聚集提供了保障。陆续成熟的 E_2s^3 , E_2s^1 和 E_3d^3 烃源岩生成的原油沿着断层、砂体和整合面等通道进行垂向或横向运移,并在先前形成

的构造圈闭中聚集起来,形成了初具规模的JZ20-A早期油藏,此时主要为沙河街组油藏。②东营组沉积末期(约18 Ma前),整个辽东湾地区发生了区域构造抬升运动,先期形成的JZ20-A油藏遭到了破坏。 E_3d^1 被剥蚀了近200 m,一些与早期油藏相关的断层开始活动,并随着上覆地层的剥蚀而断至地表,导致部分原油逸散,同时烃源岩随着温度压力的改变,生排烃过程也受到了影响。③新近系馆陶组、明化镇组沉积至今,先前因构造隆升而暂时停滞生烃的 E_3d^3 — E_2s^3 烃源岩在持续沉降过程中再次生烃,大量油气向东营组末期运动之后形成的新圈闭中不断充注,最终形成了现今流体分布态势。

JZ20-A油气来源于自身、辽中和辽西凹陷北洼,拥有多套生油层系,发育 E_3d^2 、 E_3d^3 和 E_2s^1 等厚层泥岩,为油气藏提供丰富油气的同时也对储层形成了较好的封盖作用。钻井证实该区中深层存在超压现象,联合泥岩为油气提供了良好的高压泥岩双重封堵保存条件,纵向上发育多层沙河街组至东营组叠置连片的油气藏。因此可将其油气的成藏特征概括为:接力供烃,高压泥岩双重封堵,油气叠层式成藏。

4 结论

1) JZ20-A及辽中、辽西北洼区发育较好的烃源条件,有机质丰度较高,以本身的沙河街组烃源岩最好,发育 II_1 和 II_2 类混合型有机质,成熟度表现为东高西低的分布特征,辽西北洼只有少量烃源岩达到成熟。

2) JZ20-A东二段下亚段和沙二段油来源于不同的烃源岩,并且3个供油区对油气藏的贡献大小不一,辽中北洼和JZ20-A构造本身两个供油区沙三段烃源岩贡献最大。

3) JZ20-A油气成藏过程中存在两期油气充注,且以5 Ma至今的充注为主,综合分析总结其油气成藏特征为:接力供烃,高压泥岩双重封堵,油气叠层式成藏。

参 考 文 献

- [1] 漆家福,陈发景. 辽东湾-下辽河裂陷盆地的构造样式[J]. 石油与天然气地质,1992,13(3):272-283.
Qi jiafu, Chen fajing. The Structural styles of the rift basin in Liaodong bay to Xiao liaohu area, [J]. Oil & Gas Geology, 1992,13(3):272-283.
- [2] 万桂梅,周东红,汤良杰. 渤海海域郑庐断裂带对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):450-454.
Wan guimei, Zhou donghong, Tang liangjie. The control on hydrocarbon accumulation of Tan-Lu fault zone in Bohai Sea area [J]. Oil & Gas Geology, 1992,13(3):272-283.
- [3] 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布[J]. 中国海上油气(地质),2000,14(2):93-98.
Zhang gongcheng. The tectonic framework and hydrocarbon rich sag in Bohai sea area [J]. China Offshore Oil and Gas, 2000,14(2):93-98.
- [4] 邓运华. 郑庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. 中国海上油气(地质),2001,15(5):301-305.
Deng yunhua. The control of the neotectonic movements along Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the eastern of Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2001,15(5):301-305.
- [5] 郭永华,周心怀,李建平,等. 渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质,2010,31(3):375-380,385.
Guo Yonghua, Zhou Xinhui, Li Jiangping, et al. Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology, 2010,31(4):375-380,385.
- [6] 邱楠生,魏刚,李翠翠,等. 渤海海域现今地温场分布特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):412-419.
Qiu Nansheng, Wei Gang, Li Cuicui, et al. Distribution features of current geothermal field in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009,30(4):412-419.
- [7] 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.
Pang Xiongqi, Guo Yonghua, Jiang Fujie, et al. High-quality source rocks and their distribution prediction in the Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2009,30(4):393-397.
- [8] 彼得斯 K E,莫尔多万 J M. 生物标志化合物指南[M]. 姜乃煌,张永昌,林永汉,等译. 北京:石油工业出版社,1995:20-57.
- [9] Al-Meshari A A, Kokal S L, Jenden P D, et al. An investigation of PVT effects on geochemical fingerprinting of condensates from gas reservoirs: SPE Reservoir Evaluation and Engineering [J]. Society of Petroleum Engineers, 2009,12(1):88-95.
- [10] Jerry S, Alan K B. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. AAPG Bulletin. 1990,74(10):1559-1570.
- [11] Juergen R, William A E. Organic geochemistry of petroleum reservoirs (in Society of Exploration Geophysicists, 59th annual international meeting; expanded abstracts and biographies, Anonymous,) [J]. SEG Abstracts, 1989,59(2):1350-1351.
- [12] England W A, Mackenzie A S. Some aspects of the organic geochemistry of petroleum fluids (in Geologic modeling; aspects of integrated basin analysis and numerical simulation, Anonymous,) [J]. Geologische Rundschau, 1989,78(1):291-303.

(编辑 高岩)