

渤海海域渤中西洼断裂控藏作用定量分析

——以曹妃甸12-6油田为例

李 龙,张新涛,张 震,于喜通,刘 腾

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459)

摘要:为明确断裂对渤中西洼新近系油气成藏的控制作用,基于断裂结构、分布特征及输导机理的详细分析,首次提出应用断接盖层参数和断裂输导能力指数对油源断裂的垂向输导能力进行定量评价。研究表明:断接盖层参数和断裂输导能力指数可以有效地定量表征曹妃甸12-6油田不同构造带的油气充注能力及富集层位。研究区北部断裂带断接盖层参数较大、断裂输导能力指数较小,油气充注能力较弱,油气富集于馆陶组;南部断裂带断接盖层参数较小、断裂输导能力指数较大,油气充注能力较强,油气富集于明化镇组。根据断裂输导能力的不同,分别建立曹妃甸12-6油田南、北断裂带油气成藏模式,其中北部断裂带为“源-断-砂”侧向分流式油气成藏模式,南部断裂带为“源-不整合-断”垂向贯穿式油气成藏模式。

关键词:断接盖层参数 断裂输导能力指数 油气富集 新近系 渤中西洼

中图分类号:TE112.3

文献标识码:A

Quantitative analysis of control of faults on hydrocarbon accumulation in the west of Bozhong Subsag of Bohai Sea: A case study of CFD12-6 Oilfield

LI Long, ZHANG Xintao, ZHANG Zhen, YU Xitong, LIU Teng

(Tianjin Branch Company, CNOOC(China)Ltd., Tianjin City, 300459, China)

Abstract: In order to understand the control of faults on hydrocarbon accumulation in the Neogene of the west of Bozhong Subsag, based on the detailed analysis of fault structure, distribution characteristics and transport mechanism, it was first proposed to quantitatively evaluate the vertical transmission capacity of the faults by using the fault-caprock parameter and fault-transporting ability index. The result indicates that the fault-caprock parameter and fault-transporting ability index can effectively quantitatively characterize the hydrocarbon charging capacity and hydrocarbon accumulation strata of different tectonic belts in CFD12-6 Oilfield. In the northern fault zone, the fault-caprock parameters are larger and the fault-transporting ability index is smaller, and thus the hydrocarbon charging capacity is relatively weak and the hydrocarbon is mainly accumulated in the Guantao Formation; while in the southern fault zone, the fault-caprock parameters are smaller and the fault-transporting ability index is much larger, and thus the hydrocarbon charging capacity is much stronger and the hydrocarbon is mainly accumulated in the Minghuazhen Formation. Based on the fault transmission capacity, the hydrocarbon accumulation models for the north-south fault zone in CFD12-6 Oilfield were established. The “Hydrocarbon-Fault-Sand” lateral diversion reservoir model is for the northern fault zone; while the “Hydrocarbon-Unconformity-Fault” vertical penetrating reservoir model is mainly for the southern fault zone.

Key words: fault-caprock parameter; fault-transporting ability index; hydrocarbon accumulation; Neogene; western Bozhong Subsag

断裂与油气运移、聚集的关系一直是石油地质学家关注的热点,油气的生成、运移、聚集和保存均

收稿日期:2018-02-12。

作者简介:李龙(1987—),男,山东临沂人,工程师,硕士,从事油气成藏方面的综合研究。联系电话:(022)66500599, E-mail: lilong6@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”(2016ZX05024-003)。

与断裂活动存在密切关系^[1-4]。付广等研究南堡凹陷中浅层油气成藏规律时,认为断盖配置对油气运移具有控制作用,进而影响油气的聚集与分布^[5-8]。在油源断裂密集发育带,油源断裂的输导能力越强,油气越富集;反之,则油气聚集能力越差^[9-13]。在油气成藏过程中,断裂不仅能够输导油气,还可以遮挡油气,具有一定的封闭性。前人对断裂封闭性进行了大量的研究和探讨^[2-3],但主要针对断裂圈闭的封堵性与油气聚集关系进行研究,而对断裂输导-聚集与油气富集层位关系的研究则相对较少。近年来,环渤中西洼新近系油气勘探持续获得突破^[14-19],尤其在馆陶组获得较好的油气发现,已成为渤海油田勘探的新热点,而对不同断块、不同层系油气的富集规律仍认识不清。为此,以渤中西洼曹妃甸12-6油田为例,针对渤中西洼复杂断裂带开展断裂控藏作用研究,对于探索断裂与油气富集的关系,正确认识研究区新近系的油气成藏规律以及指导油气勘探均具有重要意义。

1 区域地质概况

渤中西洼位于渤海西部海域,面积约为2 000 km²,其北接石臼坨凸起,南临沙垒田凸起,西与南堡凹陷过渡,东与渤中凹陷主体相接(图1)。研究区自下而上发育古近系沙河街组(Es)、东营组(Ed)和新近系馆陶组(Ng)、明化镇组(Nm)以及第四系平原组(Qp)。油源对比结果表明,油气主要来自渤中西洼沙河街组暗色烃源岩,厚度大、成熟度高、分布广,油气成藏条件十分优越。近年来,在渤中西洼先后发现渤中8-4、曹妃甸6-4和曹妃甸12-6等油田,油气纵向上分布广泛,从中生界潜山到新近系明化镇组上段均有发现。勘探成果证实,研究区受双向走滑断裂影响,构造极其复杂,且不同构造区

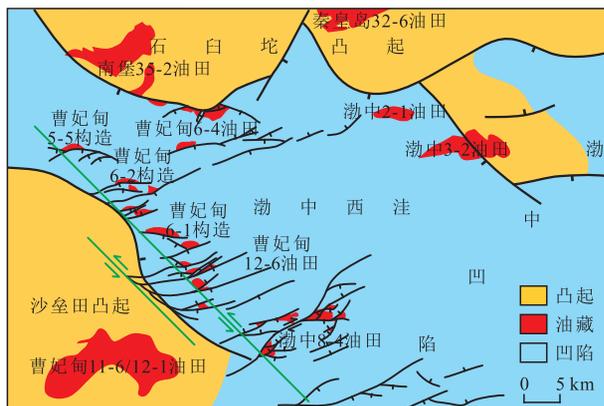


图1 渤中西洼区域构造位置

Fig.1 Tectonic location of the west of Bozhong Subsa

的断裂发育特征不同,油气分布差异性明显。

2 断裂发育特征

根据地震方差切片和地质剖面,可以将研究区断裂演化阶段划分为早期基底走滑作用、中期古近纪伸展作用和晚期新近纪—第四纪双向走滑作用3个阶段(图2a)。早期基底走滑作用阶段为基底古隆起形成阶段,该阶段以基底走滑为特征,局部呈现张扭变形,控制研究区古隆起形成;中期古近纪伸展作用阶段以伸展作用为主,持续活动的大型断裂控制沙河街组和东营组沉积,该阶段断裂具有发育早、断距大和长期活动的特点,控制形成渤中西洼现今洼隆相间的构造格局;晚期新近纪—第四纪双向走滑作用阶段为渤海海域新构造运动阶段,受NE向郯庐断裂和NW向张蓬断裂双向走滑作用的影响,构造活动强烈,浅层主要发育大量NE向密集排列、规模较小的次级断裂,且基本发育于长期活动性主干断裂附近,呈现负花状构造样式。

依据断裂形成时期与断开层位的关系可以将研究区发育的断裂划分为4种类型(图2b)。I型断裂为早期基底走滑作用阶段所形成,断至基底,顶端倾没于古近系下部;II型断裂早期为基底断裂,自古近纪至今持续性活动,表现为深浅层切割、通天型断裂;III型断裂为新近纪—第四纪形成,断至或断穿馆陶组,局部深切至基底古隆起,表现为中浅层切割;IV型断裂主要在第四纪活动,规模较小,大多断至明化镇组。

不同类型断裂与油气运移的关系存在差异。其中,I型断裂仅在古近纪早期活动,为在张蓬断裂左旋走滑作用下所形成;其断裂呈NW走向,密度小、活动性较弱,主要分割构造脊及其对应的洼槽,在油气成藏期不活动;II型断裂为长期活动性断裂,活动性强,延伸距离为6~20 km,平面上呈近平行状、马尾状展布,剖面呈同向断阶式、“Y”字形组合,并在油气成藏期持续活动,是研究区主要的油气垂向输导断裂,为沟通古近系烃源岩与上覆储层的良好通道;III和IV型断裂主要为晚期活动性断裂,对油气进行垂向输导和调节分配,平面上呈雁形、近平行状、马尾状展布,剖面上以复“Y”字型、似花状组合为主,局部为“X”型断裂组合。

渤海海域油气具有晚期成藏的特征,因此新近纪的断裂分布在一定程度上控制晚期油气成藏,渤中西洼沉积晚期(明化镇组沉积时期)构造活动强烈,断裂极其发育。因此,重点分析曹妃甸12-6油

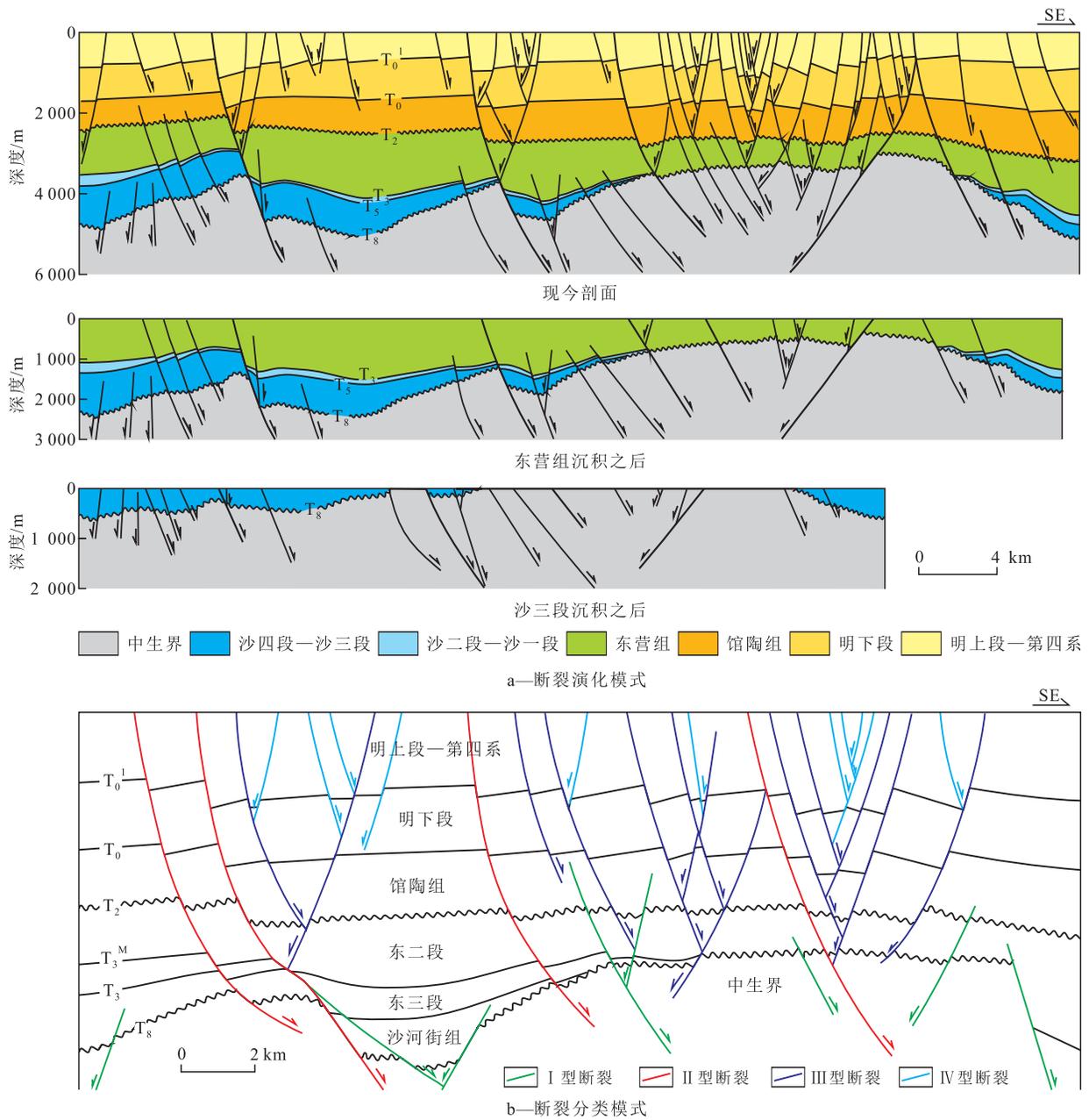


图2 渤中西洼断裂演化及分类模式

Fig.2 Evolution and classification model of faults in the west of Bozhong Subsalt

田油气成藏期的断裂分布特征,以F6断裂为界,将研究区划分为南、北2个断裂带。研究区断裂密度统计结果(表1,图3)表明,南部断裂带和北部断裂

带的断裂密度和活动性均具有一定的不均衡性。在明化镇组沉积时期,北部断裂带的平均断裂密度为0.29条/km²,南部断裂带的平均断裂密度为0.52

表1 曹妃甸12-6油田断裂密度统计

Table1 Statistics of fault density in CFD12-6 Oilfield

地震反射层位	北部断裂带				南部断裂带	
	曹妃甸6-2构造		曹妃甸6-1构造		曹妃甸12-6构造	
	断裂分布 条数/条	断裂密度/ (条·km ⁻²)	断裂分布 条数/条	断裂密度/ (条·km ⁻²)	断裂分布 条数/条	断裂密度/ (条·km ⁻²)
T ₁ (馆陶组内部层位底部)	6	0.24	3	0.18	11	0.44
T ₀ (明下段底部)	6	0.27	3	0.18	12	0.48
T ₀ ² (明化镇组内部层位底部)	7	0.29	5	0.29	13	0.52
T ₀ ¹ (明上段底部)	12	0.49	6	0.35	23	0.92

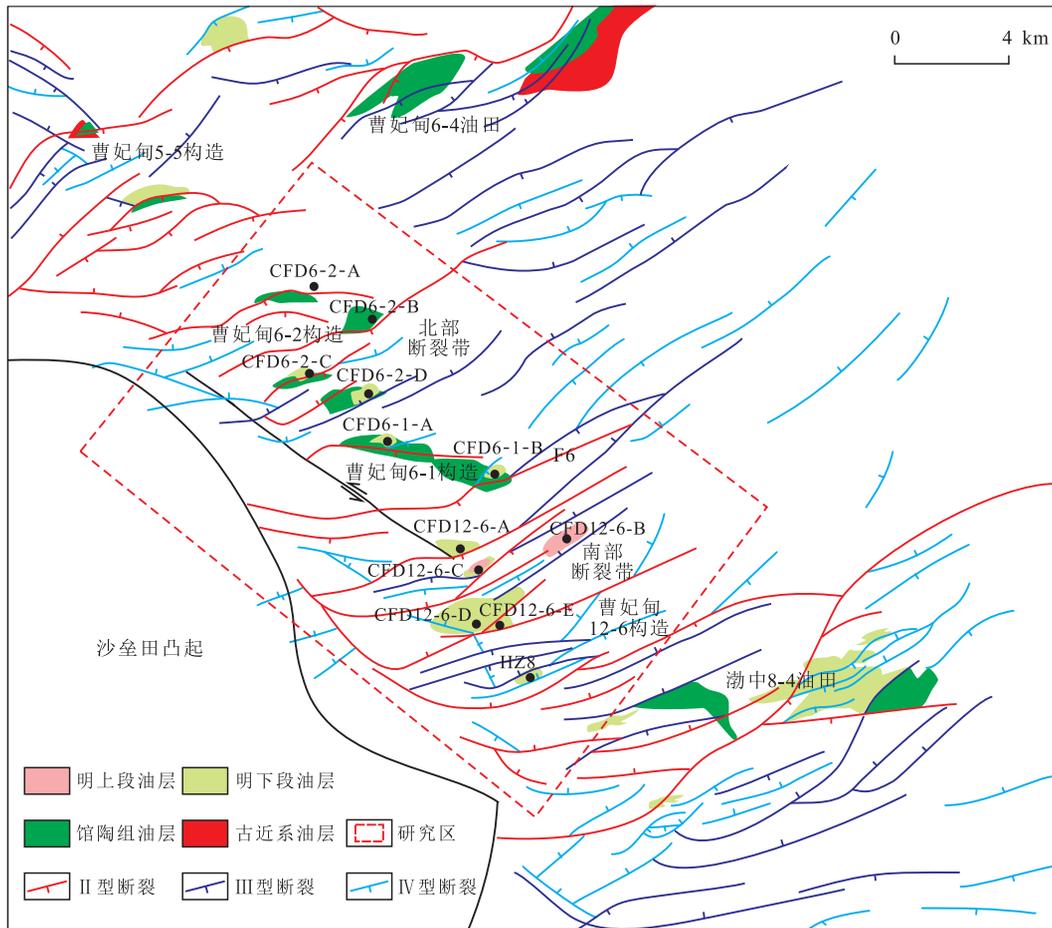


图3 曹妃甸12-6油田明化镇组沉积时期断裂及油气平面分布
Fig.3 Plane distribution of faults and hydrocarbon accumulation in CFD12-6 Oilfield(N_{1m})

条/km²,以南部断裂带的断裂更为发育;从断裂活动强度来看,北部断裂带的断裂延伸长度一般为2~14 km,晚期活动速率为7.2~12 m/Ma,南部断裂带的断裂延伸长度一般为3~20 km,晚期活动速率为12~25 m/Ma。

3 断裂控藏作用

近年来先后在渤中西洼的渤中8-4、曹妃甸6-4、曹妃甸6-1、曹妃甸6-2和曹妃甸12-6等构造浅层获得较好的油气发现,呈现环洼满带含油的特征,在这些构造钻探的圈闭均有油气发现,基本没有干井。油源对比结果已证实,渤中西洼新近系原油均来自渤中西洼沙河街组烃源岩,为典型的它源型油气成藏系统^[16]。沙河街组成熟的油气运移至浅层新近系,以长期活动性断裂的垂向输导作用尤为关键。因此,研究控制油气运移断裂的输导能力,对认识渤中西洼油气差异富集控制因素至关重要。

3.1 断裂带油气分布特征

曹妃甸12-6油田新近系油气主要分布于活动

性油源大断裂附近,南、北断裂带油气纵向分布呈现明显的不均衡性(图3)。北部断裂带曹妃甸6-1和6-2构造的油层主要集中分布于馆陶组,油层最大厚度达64.8 m,而上部明化镇组的油气显示则较差,仅少数并于明下段底部钻遇零星薄油层,其中馆陶组储量占北部断裂带总储量的93.5%。南部断裂带明化镇组具有较好的油气显示,在明下段和明上段均获得较好的油气发现,单井油层最大厚度为125.7 m,油气主要集中分布于明下段,局部富集于明上段,明化镇组储量占南部断裂带总储量的87.6%,仅CFD12-6-E并在馆陶组钻遇零星油层。

由曹妃甸12-6油田的断裂和油气平面分布特征(表1,图3)可知,北部断裂带断裂密度小、活动强度也相对较小,油气主要富集于馆陶组;而南部断裂带断裂活动性强,延伸长度长,晚期活动性断裂密集发育,油气主要富集于明化镇组。

3.2 断裂控藏作用定量评价

3.2.1 控藏断裂的厘定

前人研究成果证实,不是所有的断裂都能起到输导油气的作用^[2,19]。只有油气成藏期与断裂活动

期相匹配,活动性断裂才可以作为流体运移的有效通道。渤海海域的油气为晚期成藏,油气成藏关键期约为距今 5.3 Ma(对应明上段底界,即 T_0^1),因此明上段沉积时期具有活动性的断裂才是有效的控藏断裂。研究区 II 型断裂属于油源断裂,沟通烃源岩,为长期活动性的大型断裂; III 型断裂为晚期活动性断裂,断至馆陶组或古近系,具有调节油气运移再分配的作用。II 和 III 型断裂不仅可以作为油气快速运移的通道,还与构造圈闭的形成和油气的聚集密切相关,因此以研究区 II 和 III 型断裂作为研究对象进行重点分析。

3.2.2 定量评价参数的选取

基于曹妃甸 12-6 油田断裂发育及油气分布特征,结合前人对南堡凹陷和珠一坳陷等地区的研究成果^[6-7,20],主要选取断接盖层参数和断裂输导能力指数作为定量表征参数进行探讨。

断接盖层参数 稳定分布的泥岩盖层阻碍油气垂向运移,在油气沿断裂垂向运移的过程中,其垂向运移的距离及层位在一定程度上与泥岩盖层破裂程度相关^[5,7-8]。据此,引入断接盖层参数来表征泥岩盖层对沿断裂运移油气的封闭作用,盖层在某井区的断接厚度为该井区泥岩盖层厚度与相匹配断裂的最大断距之差,即

$$\Delta H = \frac{(H-D)}{100 \sin \varphi} \quad (1)$$

式中: ΔH 为断接盖层参数; H 为泥岩盖层厚度, m ; D 为与泥岩盖层相匹配断裂的最大断距, m ; φ 为断裂倾角, ($^\circ$)。

曹妃甸 12-6 油田发育东营组和明下段下部 2 套稳定的区域性泥岩盖层。由这 2 套区域性泥岩盖层的断接盖层参数统计结果(表 2)发现,研究区 11

口探井钻遇的 2 套泥岩盖层的厚度均大于与其相匹配断裂的最大断距,断接盖层参数均大于 0。北部断裂带的断接盖层参数均大于南部断裂带,表明北部断裂带泥岩盖层具有更强的阻止油气垂向运移的能力。由曹妃甸 12-6 油田新近系油气分布统计结果(图 4a)来看,当 $\Delta H \geq 7$ 时,断裂对泥岩盖层的破坏能力较小,油气突破东营组泥岩盖层之后,难以穿越明下段底部泥岩盖层继续运移,油气沿断裂运移至馆陶组后,在馆陶组砂砾岩输导层中横向运移,进而聚集成藏,有利于油气在馆陶组富集;当 $\Delta H < 7$ 时,泥岩盖层的破坏程度较大,垂向阻烃能力较弱,油气沿断裂垂向贯穿式运移,主要富集于明下段。综上所述,泥岩盖层的断接盖层参数越大,对油气垂向运移的阻碍作用越强,在一定程度上,断接盖层参数的大小影响油气的分布层位。

断裂输导能力指数 断裂输导能力是指断裂垂向沟通及运移油气的能力。付广等在综合考虑各种影响因素的前提下,建立了油源断裂输导能力定量评价关系式^[6]。在对周围地区断裂分析对比的基础上,对曹妃甸 12-6 油田油源断裂有效输导能力进行定量分析,结合断接盖层参数分析对油气垂向运移的影响,建立断裂输导能力指数计算式

$$T_c = \frac{L \sin \varphi \cos \delta}{\Delta H} \quad (2)$$

式中: T_c 为断裂输导能力指数; L 为断裂有效延伸长度, m ; δ 为断裂走向与区域应力场的夹角, ($^\circ$)。

由式(2)可以看出, T_c 值越大,断裂输导能力越强,油气的充注层位越浅,反之则输导能力越弱,油气充注层位越深。根据断裂输导能力指数对曹妃甸 12-6 油田南、北断裂带 II 和 III 型断裂的输导能力进行定量分析,结果(图 5)表明,在平面上研究区断

表 2 曹妃甸 12-6 油田断接盖层参数统计结果

Table 2 Statistic result of the fault-caprock parameters in CFD12-6 Oilfield

构造区域	井号	东 营 组			明 下 段 下 部			断接盖层参数(东营组与明下段)	馆陶组油层占新近系油层的比例/%
		盖层厚度/m	最大断距/m	断接盖层参数	盖层厚度/m	最大断距/m	断接盖层参数		
北部断裂带	CFD6-2-A	1 683	311.1	13.72	328.8	185.0	1.44	15.16	100
	CFD6-2-B	1 759.5	295.8	14.64	296.1	163.4	1.33	15.96	100
	CFD6-2-C	1 445	329.8	11.15	398.2	201.2	1.97	13.12	83
	CFD6-2-D	1 445	396.1	10.49	376.7	270.0	1.07	11.56	63
	CFD6-1-A	1 343	396.1	9.47	398.2	270.0	1.28	10.75	89
	CFD6-1-B	935	204	7.31	398.2	270.0	1.28	8.59	83
南部断裂带	CFD12-6-A	612	285.6	3.26	360.5	172.8	1.88	5.14	0
	CFD12-6-B	574.6	285.6	2.89	291.0	113.4	1.78	4.67	0
	CFD12-6-C	561	285.6	2.75	291.0	172.8	1.18	3.94	0
	CFD12-6-D	561	115.6	4.45	405.0	236.3	1.69	6.14	8
	CFD12-6-E	561	197.2	3.64	404.0	148.5	2.56	6.19	0

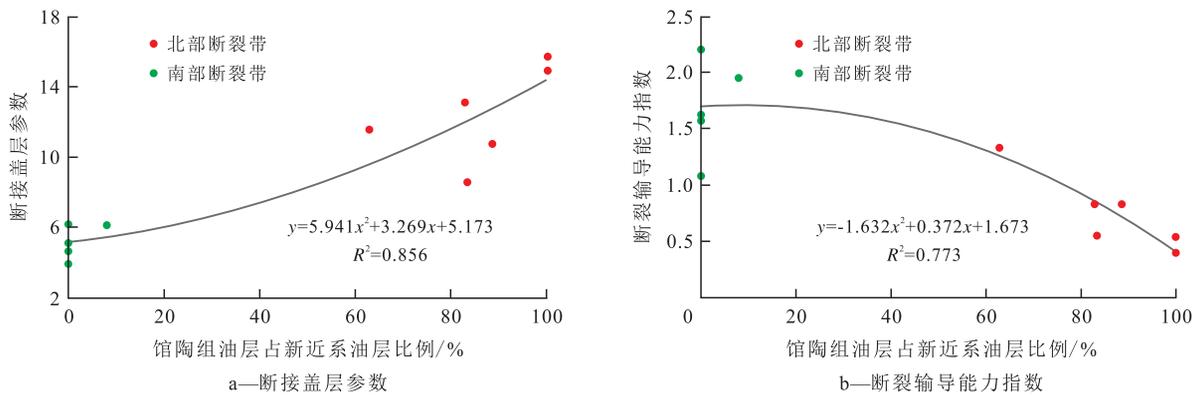


图4 断接盖层参数、断裂输导能力指数与馆陶组油层分布的关系

Fig.4 Relationship between the fault-caprock parameter, the fault-transporting ability index and the reservoir distribution of Guantao Formation

裂输导能力较强的区域主要位于南部断裂带,而北部断裂带整体断裂输导能力相对较弱;目前已发现油气藏主要集中分布于输导能力较强的大型断裂附近,而输导能力在一定程度上影响油气的纵向分布。从油气纵向分布层位及馆陶组油层分布(图4b)可以看出,在断裂输导能力较强的南部断裂带,

油气主要集中分布于明化镇组;而北部断裂带由于断裂输导能力较弱,油气主要富集于馆陶组。

3.2.3 断裂控藏作用评价

曹妃甸12-6油田发育的活动性大型断裂(Ⅱ和Ⅲ型断裂)与稳定分布的泥岩盖层共同控制着新近系的油气充注及富集层位,进而控制形成不同构造

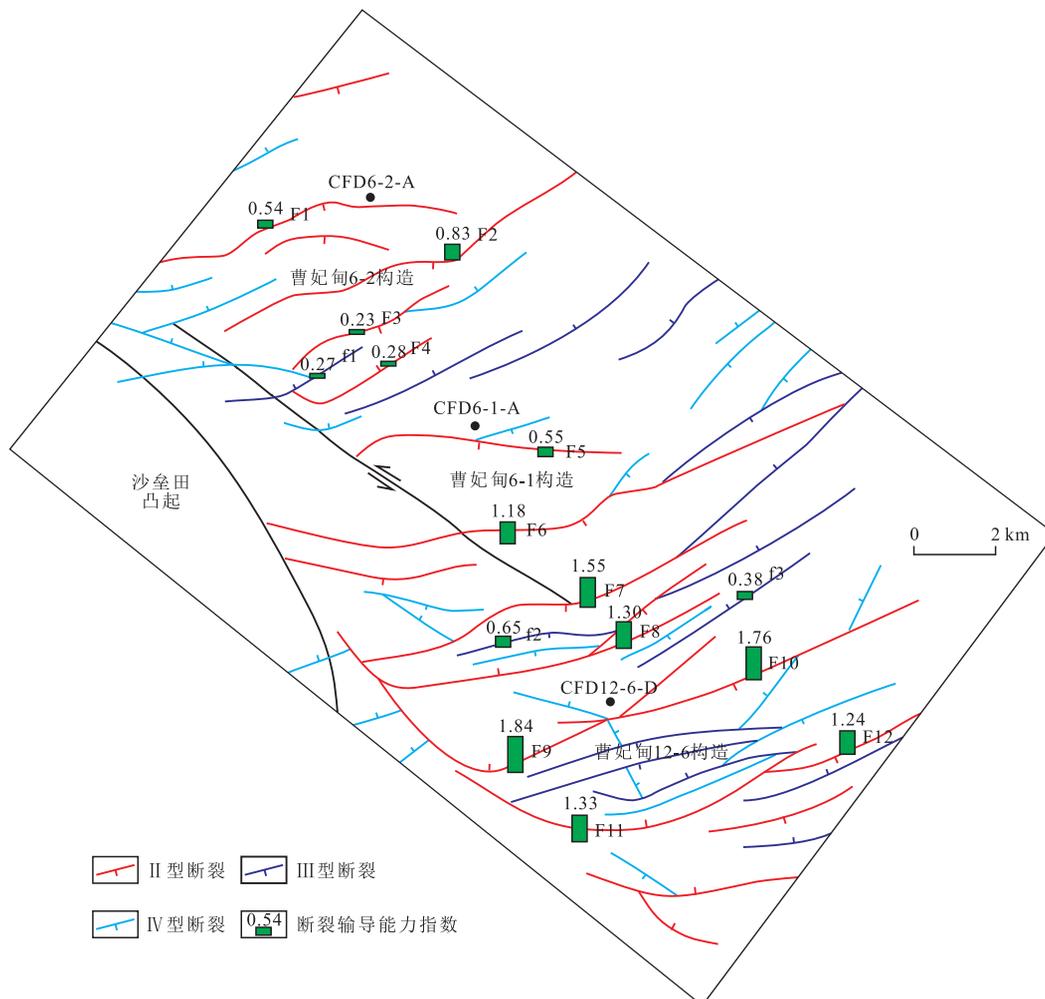


图5 曹妃甸12-6油田断裂输导能力评价结果

Fig.5 Evaluation result of the transporting ability of faults of CFD12-6 Oilfield

区的差异性油气成藏模式。

利用断接盖层参数和断裂输导能力指数对研究区断裂的输导能力进行定量评价,通过计算各井区断裂与油气分布层位之间的关系,明确研究区油气的充注和富集层位。对于北部断裂带,其 $\Delta H \geq 7$,油气富集于馆陶组;当 $T_c < 0.55$ 时,油气仅充注至馆陶组;当 $0.55 \leq T_c < 1.5$ 时,油气可充注至明下段下部,仅零星油气可见。而对于南部断裂带,其 $\Delta H < 7$,油气主要富集于明化镇组,当 $1.0 \leq T_c < 1.5$ 时,油气充注至明下段顶部;当 $T_c \geq 1.5$ 时,油气充注至明上段,以明上段油气较为富集。

4 油气成藏模式

通过分析曹妃甸12-6油田新近系油气分布的差异性,重点剖析断裂对油气富集差异的影响,根据断裂控藏定量评价参数,重点分析研究区断裂对油气成藏的控制作用,明确油气充注及富集层位的差异性,建立研究区2种油气成藏模式:“源-断-砂”侧向分流式油气成藏模式和“源-不整合-断”垂向贯穿式油气成藏模式(图6)。

4.1 “源-断-砂”侧向分流式油气成藏模式

“源-断-砂”侧向分流式油气成藏模式发育于

研究区北部断裂带,油藏主要分布于馆陶组,以构造油藏为主。研究区主要输导体系为油源断裂和馆陶组砂砾岩体,油源断裂沟通深部油源,为深层沙河街组油气向浅层圈闭运移提供良好的通道,由于该区古近系稳定发育的泥岩盖层厚度大、阻烃能力强,油气突破东营组泥岩盖层后,首先运移至新近系馆陶组;而上覆明下段发育远源极浅水三角洲沉积,稳定发育泥岩盖层好比断裂输导的“节流阀”,进一步阻碍油气向上运移,造成断裂对油气垂向输导能力减弱;而该区馆陶组中下部发育辫状河河道沉积,大套连片叠置的砂砾岩体构成了油气运移低势区,提供了良好的侧向分流通道。油气沿油源断裂运移至馆陶组后,在馆陶组砂砾岩体输导层中发生侧向分流,沿馆陶组横向输导,并最终受反向断裂遮挡,在储盖组合较好的馆陶组上部聚集成藏。

4.2 “源-不整合-断”垂向贯穿式油气成藏模式

“源-不整合-断”垂向贯穿式油气成藏模式主要发育于研究区南部断裂带,其油气富集于明化镇组。该区主要输导体系为不整合面和断裂,由于受基底古隆起控制,古近系沉积厚度薄,稳定分布的泥岩盖层厚度较小,对油气垂向输导的阻碍能力相对较小。油气沿不整合面初次运移并聚集,进而沿

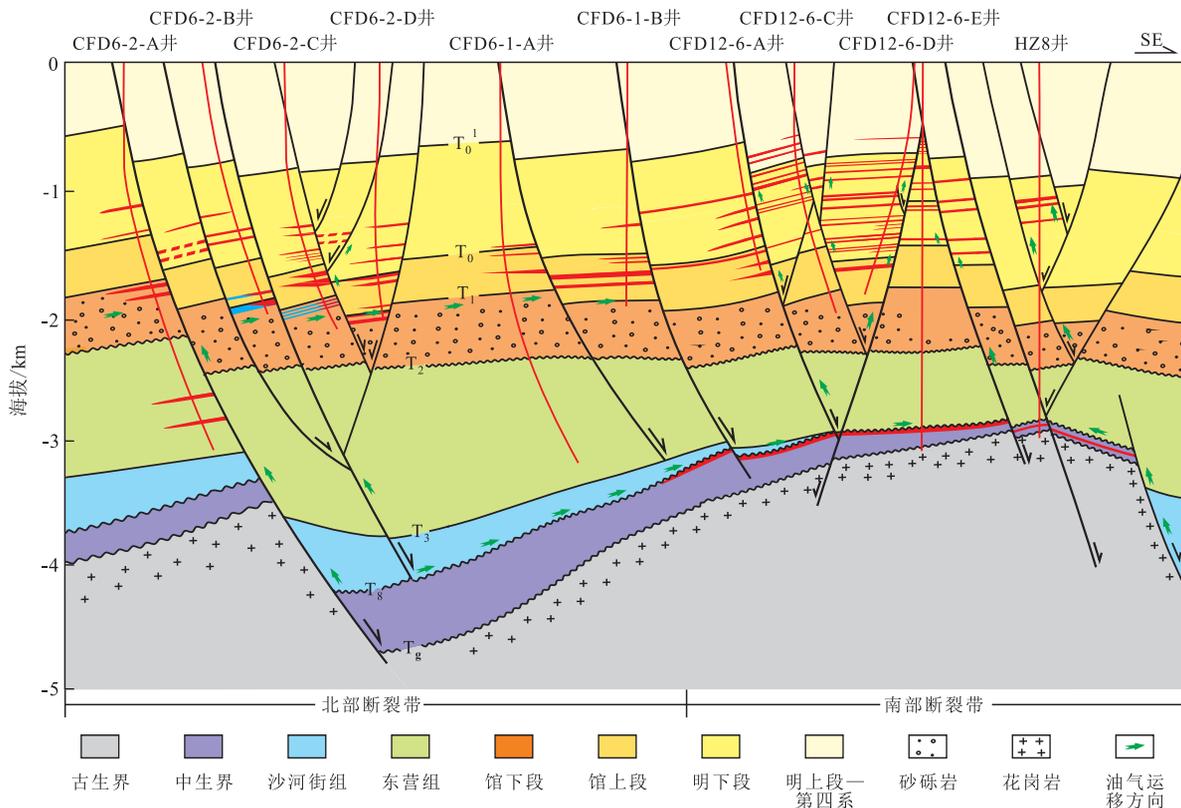


图6 渤中西洼曹妃甸12-6油田油气成藏模式

Fig.6 Hydrocarbon accumulation model for CFD12-6 Oilfield in the west of Bozhong Subsalt

深切至不整合面的油源断裂运移,突破东营组薄层泥岩盖层之后,由于该区断裂密度大、活动性强,断裂垂向输导能力更强,远大于馆陶组砂砾岩体的侧向分流能力,油气继续沿断裂运移至浅层明化镇组。断裂输导能力越强,油气充注层位越浅(其中CFD12-6-B井区 T_c 值高达1.76,油气集中分布于明上段),呈现垂向贯通式输导,有利于油气向浅层明化镇组运移,最终在明化镇组大量发育的岩性砂体中聚集成藏。

5 结论

渤中西洼断裂演化阶段分为早期基底走滑作用、中期古近纪伸展作用、晚期新近纪—第四纪双向走滑作用3个阶段。根据断裂形成时期与断开层位的关系,可以将研究区发育的断裂划分为4种类型,其中Ⅱ和Ⅲ型断裂对油气输导至关重要。首次应用断接盖层参数与断裂输导能力指数对曹妃甸12-6油田断裂控藏作用进行定量评价。结果表明,北部断裂带 $\Delta H \geq 7$,油气富集于馆陶组,当 $T_c < 0.55$ 时,油气仅充注至馆陶组;当 $0.55 \leq T_c < 1.5$ 时,油气充注至明下段底部,仅零星油气可见;南部断裂带 $\Delta H < 7$,油气均富集于明化镇组,当 $1.0 \leq T_c < 1.5$ 时,油气充注至明下段;当 $T_c \geq 1.5$ 时,油气充注至明上段。在明确断接盖层参数、断裂输导能力指数与研究区油气充注、富集层位关系的基础上,建立研究区2种油气成藏模式,北部断裂带为“源-断-砂”侧向分流式油气成藏模式,南部断裂带为“源-不整合-断”垂向贯穿式油气成藏模式。

参考文献:

- [1] CAINE J S, EVANS J P, FORSTER C B. Fault zone architecture and permeability structure [J]. *Geology*, 1996, 24 (11) : 1 025-1 028.
- [2] 罗群. 断裂带的输导与封闭性及其控藏特征[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(5): 474-479.
LUO Qun. Transporting and sealing capacity of fault belt and its controlling on reservoir [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(5): 474-479.
- [3] 罗群. 断裂控藏理论的概念/原理、模式与意义[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(3): 316-324.
LUO Qun. Concept, principle, model and significance of the fault controlling hydrocarbon theory [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(3): 316-324.
- [4] 薛永安, 杨海风, 徐长贵. 渤海海域黄河口凹陷斜坡带差异控藏作用及油气富集规律[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(4): 65-74.
XUE Yongan, YANG Haifeng, XU Changgui. Differential reservoir-controlling effect and hydrocarbon enrichment of slope zone in Huanghekou sag, Bohai Bay Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(4): 65-74.
- [5] 付广, 杨敬博. 断盖配置对沿断裂运移油气的封闭作用: 以南堡凹陷中浅层为例[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2013, 38(4): 783-791.
FU Guang, YANG Jingbo. Sealing of matching between fault and caprock to oil-gas migration along faults: An example from middle and shallow strata in Nanpu Depression [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2013, 38(4): 783-791.
- [6] 付广, 周亮, 安立刚. 油源断裂输导油气能力定量评价与油气聚集——以南堡凹陷东一段为例[J]. *岩性油气藏*, 2012, 24(4): 8-12.
FU Guang, ZHOU Liang, AN Ligang. Quantitative evaluation for hydrocarbon transport ability of faults connected with source rocks and relation with hydrocarbon accumulation: An example from Ed' of Nanpu Depression [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2012, 24(4): 8-12.
- [7] 刘哲, 付广, 吕延防, 等. 南堡凹陷断裂对油气成藏控制作用的定量评价[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(1): 27-34.
LIU Zhe, FU Guang, LÜ Yanfang, et al. Quantitative evaluation for control of faults on hydrocarbon accumulation in Nanpu sag [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2013, 37(1): 27-34.
- [8] 温宏雷, 邓辉, 李正宇, 等. 渤海海域新近系明化镇组断裂控藏作用定量评价——以黄河口凹陷中央构造脊为例[J]. *油气地质与采收率*, 2017, 24(4): 36-42.
WEN Honglei, DENG Hui, LI Zhengyu, et al. Quantitative evaluation of control effect of faults on hydrocarbon accumulation in the Minghuazhen Formation, Bohai Sea: A case study of central structural ridge in Huanghekou sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(4): 36-42.
- [9] 柳广弟, 吴孔友, 查明. 断裂带作为油气散失通道的输导能力[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2002, 26(1): 16-17, 22.
LIU Guangdi, WU Kongyou, ZHA Ming. Draining capacity of fault zone as a pathway of oil and gas leakage [J]. *Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science*, 2002, 26(1): 16-17, 22.
- [10] 姜振学, 庞雄奇, 曾溅辉, 等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究[J]. *地学前缘*, 2005, 12(4): 507-516.
JIANG Zhenxue, PANG Xiongqi, ZENG Jianhui, et al. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(4): 507-516.
- [11] 赵密福, 刘泽容, 信荃麟, 等. 控制油气沿断层纵向运移的地质因素[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2001, 25(6): 21-24.
ZHAO Mifu, LIU Zerong, XIN Quanlin, et al. Geologic factors for controlling vertical migration of hydrocarbons along faults [J]. *Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science*, 2001, 25(6): 21-24.
- [12] 徐宏. 不同运移方式下断裂控藏作用的差异性——以松辽盆地

- 升西—徐家围子向斜区葡萄花油层和杏北地区扶余油层为例[J].东北石油大学学报,2013,37(5):17-23,55.
- XU Hong.Differences in fault control of oil accumulation in different migration forms—an example from P oil layer of Shengxi-Xujiaweizi Synclinal region and F oil layer of Xingbei region [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2013, 37(5): 17-23, 55.
- [13] 邓爱居,张少华,李凤群,等.饶阳凹陷肃宁地区新生代断裂活动及其对油气成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2017,24(3):18-24.
- DENG Aiju, ZHANG Shaohua, LI Fengqun, et al.Cenozoic fault activity and its control on hydrocarbon accumulation in Suning area of Raoyang sag, Bohai Bay Basin [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(3): 18-24.
- [14] 米立军,段吉利.渤海中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律[J].石油学报,2001,22(2):32-37.
- MI Lijun, DUAN Jili.Characteristics of middle and shallow strata oil-gas reservoirs and oil-gas accumulation rule in the middle area of Bohai [J].Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 32-37.
- [15] 邓运华.渤海湾盆地上第三系油藏类型及成藏控制因素分析[J].中国海上油气:地质,2003,17(6):359-364.
- DENG Yunhua.Types and accumulation controls of Neogene oil reservoirs in Bohai Bay Basin [J].China Offshore Oil and Gas: Geology, 2003, 17(6): 359-364.
- [16] 徐春强,王德英,张新涛,等.渤海中坳陷西斜坡新近系油气成藏主控因素及有利勘探方向[J].地球科学与环境学报,2016,38(2):217-225.
- XU Chunqiang, WANG Deying, ZHANG Xintao, et al.Main controlling factors of hydrocarbon accumulation and prediction of favorable exploration zone of Neogene in the western slope of Bohai sag [J].Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(2): 217-225.
- [17] 江涛,李慧勇,李新琦,等.渤西沙垒田凸起走滑断裂背景下油气成藏特征[J].岩性油气藏,2015,27(5):172-175.
- JIANG Tao, LI Huiyong, LI Xinqi, et al.Hydrocarbon accumulation characteristics under the background of strike-slip faults in Shaleitian uplift, west Bohai Sea [J].Lithologic Reservoirs, 2015, 27(5): 172-175.
- [18] 李新琦,李慧勇,于海波,等.张家口—蓬莱断裂带渤海段断裂特征及其与油气差异成藏关系[J].油气地质与采收率,2016,23(5):16-22,49.
- LI Xinqi, LI Huiyong, YU Haibo, et al.Fault characteristics and its relationship with differential hydrocarbon accumulation of Zhangjiakou-Penglai Fault in Bohai region [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(5): 16-22, 49.
- [19] 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):885-893,899.
- 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, 899.
- [20] 彭辉界,庞雄奇,李洪博,等.珠江口盆地珠一坳陷断裂控藏定量表征与有利勘探区预测[J].现代地质,2016,30(6):1318-1328.
- PENG Huijie, PANG Xiongqi, LI Hongbo, et al.Quantitative evaluation of control of faults on hydrocarbon accumulation and play fairway prediction in Zhu 1 Depression of Pearl River Mouth Basin [J].Geoscience, 2016, 30(6): 1318-1328.

编辑 邹澍滢