

渤海海域渤南低凸起中段新近系 油气成藏的主控因素

王广源,官大勇,刘朋波,鲁凤婷,韩 芮,苏 凯

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津 300452)

摘 要:近年,渤南低凸起中段新近系油气勘探获得突破,为掌握该区新近系油气富集规律,根据最新勘探成果,利用区内大量勘探资料和实验分析资料,在总结新近系已发现油气藏特征的基础上,提出了 3 个油气成藏主控因素:距离油源远近控制了新近系油气成藏规模大小;切至潜山的长期活动断层对新近系油气成藏至关重要;“包心菜式”断层组合的不同部位决定了新近系油气富集程度。通过主控因素分析,总结其油气成藏模式为远源阶梯式油气成藏模式,这对该区下步新近系油气勘探具有重要的现实指导意义。

关键词:渤海海域;渤南低凸起;新近系;油气成藏;主控因素

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.02005

渤南低凸起位于渤海海域南部,被郯庐断裂带西支 2 条走滑断层沿北北东向切割成自西向东逐级抬升的 3 大段,即渤南低凸起西段、中段和东段^[1]。渤南低凸起中段夹持在郯庐断裂带西支早期发育的 2 条走滑断层之间,南北两侧分别被黄河口凹陷和渤中凹陷两大富生烃凹陷所包围^[2-4],油气成藏条件十分优越(图 1)。以往勘探实践表明该区油气主要分布在潜山古生界内,但近两年,在该区新近系明化镇组和馆陶组获得油气突破,这促使我们亟需加强对新近系油气成藏的研究和分析。

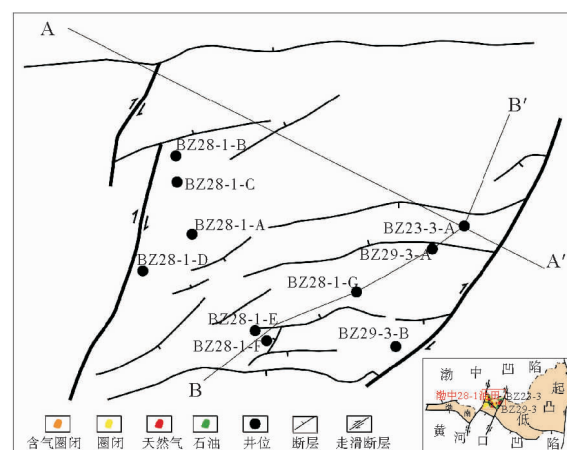


图 1 渤海海域渤南低凸起中段区域位置图

Fig. 1 The location of the middle part of Bonan lower-uplift in Bohai Sea

1 油气分布特征

渤南低凸起中段油气勘探始于 20 世纪 80 年代,于 1980 年 12 月钻探的 BZ28-1-A 井在下古生

界寒武系碳酸盐岩地层中获高产油气流,测试折日产原油 200 m³,从而发现了渤中 28-1 潜山油气田^[5],该油田是渤海海域在碳酸盐岩地层中发现的最大油气田。1988 年 5 月在渤中 29-3 构造上钻探了 BZ29-3-A 井,该井在新近系馆陶组和下古生界寒武系地层中测井解释气层共计 36.6 m,

收稿日期:2016-08-19

基金项目:国家科技重大专项“近海富烃凹陷资源潜力再评价和新区、新领域勘探方向”(2011ZX05023-001)

作者简介:王广源(1986—),男,硕士,工程师,主要从事石油地质综合研究。E-mail:helloyuan@126.com

其中馆陶组气层 12.5m, 潜山气层 21.1 m, 从而发现了渤中 29-3 含气构造。此后, 该区的油气勘探长期处于沉寂状态, 直到近两年先后钻探了 BZ23-3-A 和 BZ29-3-B 两口探井, 这两口井不仅在古生界潜山中获得良好的商业油气发现, 而且在浅层新近系明化镇组和馆陶组获得重大油气突破。截止目前, 渤南低凸起中段已发现了 1 个油气田(渤中 28-1 潜山油气田)和 2 个含油气构造(渤中 23-3 和渤中 29-3 两个含油气构造)。

统计该区已钻井油气层分布情况(表 1)发现, 该区潜山、古近系、新近系油气显示非常活跃, 渤中 28-1 油气田含油层位主要为古生界的

奥陶系、寒武系和古近系的沙一段, 在新近系中, 仅 BZ28-1-D 井在馆陶组综合测井解释出油层 4.9 m, 油水同层 5.3 m, 其余井只能见到少量的录井气测异常和油气显示或没有任何油气显示。渤中 23-3 和渤中 29-3 两个含油气构造不仅在已知的含油气层段—古生界中获得油气发现, 而且在新近系的明下段和馆陶组也获得油气发现, 含油气层段主要分布在明下段下部和馆陶组上部。由此可知, 渤南低凸起中段新近系油气主要分布在渤中 23-29 构造区, 而渤中 28-1 油田油气主要分布在古生界和古近系地层中, 在新近系仅零星分布。

表 1 渤南低凸起中段油气分布统计

Table 1 The statistics table of petroleum distribution in the middle part of Bonan lower-uplift

构造位置		渤中28-1油田							渤中23-29构造		
地层	钻井	BZ28-1-A	BZ28-1-B	BZ28-1-C	BZ28-1-D	BZ28-1-E	BZ28-1-F	BZ28-1-G	BZ23-3	ABZ29-3	ABZ29-3-B
新近系	明上段								★		
	明下段	☆		★		☆			★	☆	★
	馆陶组	☆			★	☆		☆	★	☆	★
古近系	东一段							☆		☆	★
	东二上							☆	★	☆	★
	东二下							☆			★
	东三段										
	沙一段					☆	★				
	沙二段										
	沙三段										
中生界											
古生界		★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
太-元古界						▽					★

油层

气层

☆ 气测异常

★ 油气显示

▽ 完钻层位

2 油气藏特征

2.1 构造特征

区域构造位置上, 渤南低凸起中段位于郯庐断裂西支走滑带的末梢, 处于郯庐断裂走向由近 SN 向转为 NNE 向的转换部位, 受渤南低凸起南侧边界伸展断层和郯庐走滑断层共同控制, 区内断裂非常发育, 切割关系复杂。在走滑和伸展双重作用下, 该区主要发育走滑和伸展两类断裂, 其

中伸展断裂根据活动时间可分为长期活动断裂、早期断裂和晚期断裂(图 2)。古近系沉积之前, 受郯庐断裂西支强烈影响, 区内基底主要发育 2 条陡直的走滑断层, 平面上呈 NNE 向展布。在这两条走滑断层作用下, 渤南低凸起被切割成东、中、西 3 段, 且在基底形成了 2 个大的构造脊(西侧为渤中 22 构造脊, 东侧为渤中 23 构造脊)(图 2), 圈闭形态基本受控于走滑断裂。古近系沉积期, 断裂继承了基底主走滑的特征, 同时伸展断裂开始大规模发育, 平面上呈 NE 和 NEE 向展布。新近系馆陶组—明下段沉积时期, 走滑活动减弱,

NE 和 NNE 向伸展断层活跃,至明化镇组沉积末期,以伸展作用为主,NE 和 NEE 向伸展断裂大规模发育,这些在新构造运动^[6,7]发育的晚期伸展断裂切割了早期发育的 2 个构造脊,使得该区构造进一步复杂化。平面上新近系的圈闭基本上沿构造脊两侧展布,多为复杂断块、断鼻圈闭,累计圈闭面积较大,叠合程度较好,剖面上表现为负花状(图 2)和“包心菜式”构造样式^[8](图 3)。

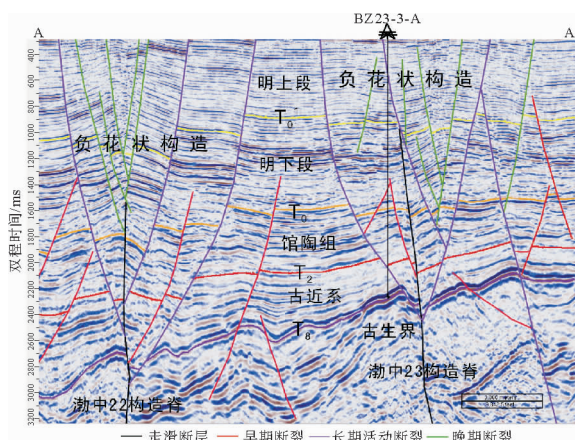


图 2 过 BZ23-3-A 井的地震剖面(位置见图 1)

Fig. 2 Seismic section crossing BZ23-3-A
(location shown in Fig. 1)

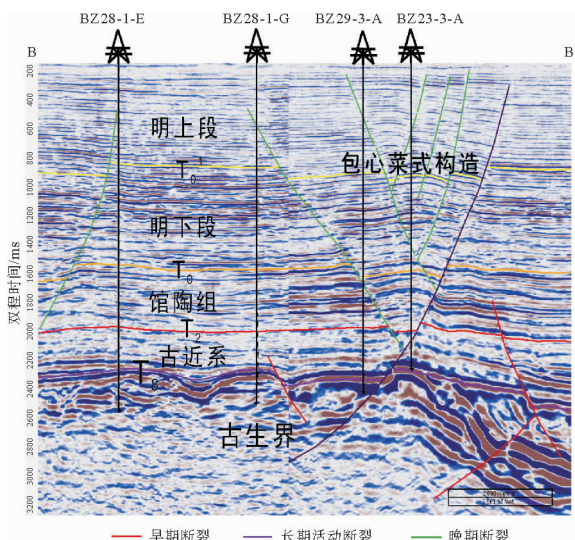


图 3 过 BZ28-1-E、BZ29-3-A 和 BZ23-3-A 井的地震剖面(位置见图 1)

Fig. 3 Seismic section crossing BZ28-1-E、
BZ29-3-A and BZ23-3-A
(location shown in fig. 1)

2.2 储盖组合特征

区域沉积相研究表明,渤南低凸起中段在新近系沉积时期为渤中坳陷一个小的汇水区域,发育稳定的浅水湖泊沉积^[9],在河流注入的地方形成了浅水湖泊三角洲沉积体系^[10]。从渤南低凸起中段多口钻井结果看(图 4),新近系(明下段、馆陶组)储层发育,但由于横向上沉积相带变化较快,导致储层连续性差。该区新近系储层发育在一定程度上受区域沉积作用影响较大,砂泥岩沉积具有明显的多期旋回特点。砂层分布相对集中,主要分布在明下段下部和馆陶组的中上部,明下段单层砂岩厚度大多在 5~15 m 之间,最大为 36.3 m,馆陶组单层砂岩厚度大多在 10~20 m 之间,最大为 53.2 m。据岩心观察和化验分析,结合测井相和地震相研究,该区新近系为河流—浅水三角洲沉积环境。馆陶组沉积时期,该区处于河流—湖泊交互沉积(图 5),钻井揭示地层岩性组合为砂泥岩互层,砂岩百分含量为 36%~46%;明化镇组沉积时期,该区处于曲流河—浅水三角洲沉积环境(图 5),砂岩百分含量 18%~27%。总体来看,该区新近系储层发育适中,储盖组合较为理想。

统计最新钻探的 BZ23-3-A 和 BZ29-3-B 两口井的实测孔隙度数据可知,明下段砂岩孔隙度在 18.9%~33.1%之间,馆陶组砂岩孔隙度在 14.5%~31.8%之间,总体上明下段和馆陶组孔隙度主要分布在 15%~30%区间。由此可见,该区新近系砂岩物性好,属于中—高孔隙度,是好—优质储层。

3 油气成藏主控因素

3.1 距离油源远近

根据油气运移理论,油气总是从高势区向低势区运移,只要圈闭和烃源岩间存在着势能差,油气就在势能差的作用下从烃源岩向圈闭运移^[11]。渤南低凸起中段在两条走滑断层挤压作用下形成渤中 22 和渤中 23 两个大的构造脊,这为渤中凹陷生成的油气向渤南低凸起运移提供了有利的构

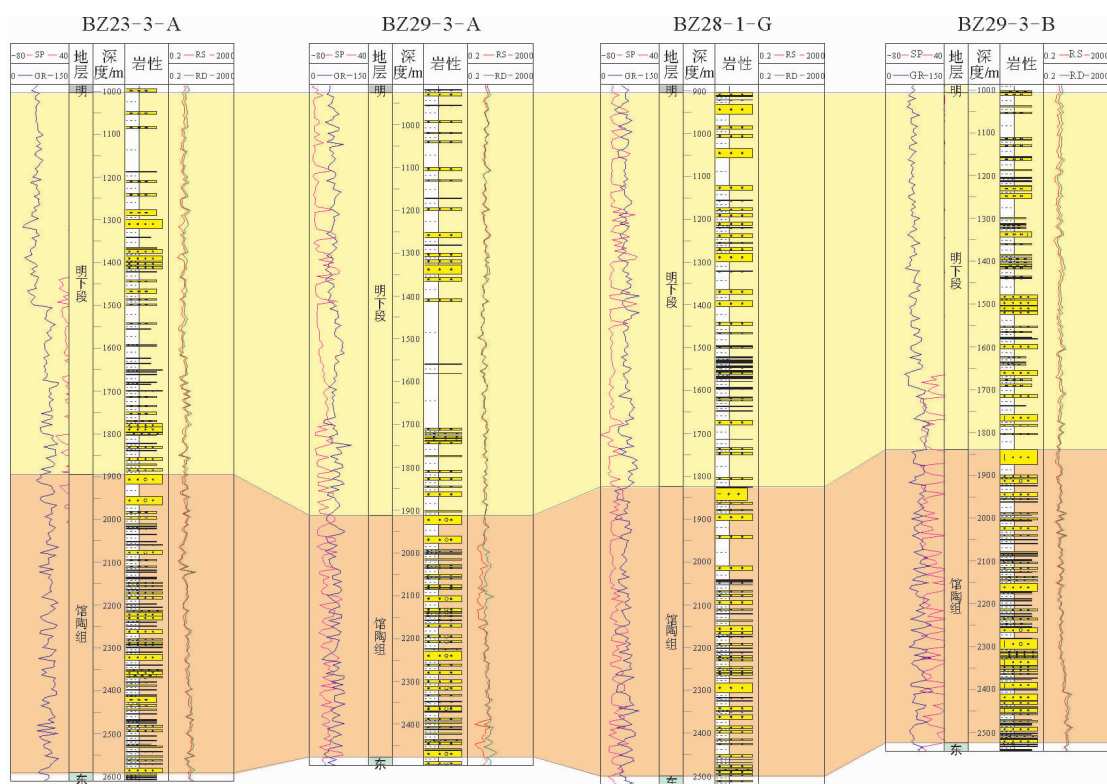


图 4 过 BZ23-3-A、BZ29-3-A、BZ28-1-G 和 BZ29-3-B 井的连井地层对比

Fig. 4 Stratigraphic correlation map of BZ23-3-A, BZ29-3-A, BZ28-1-G and BZ29-3-B

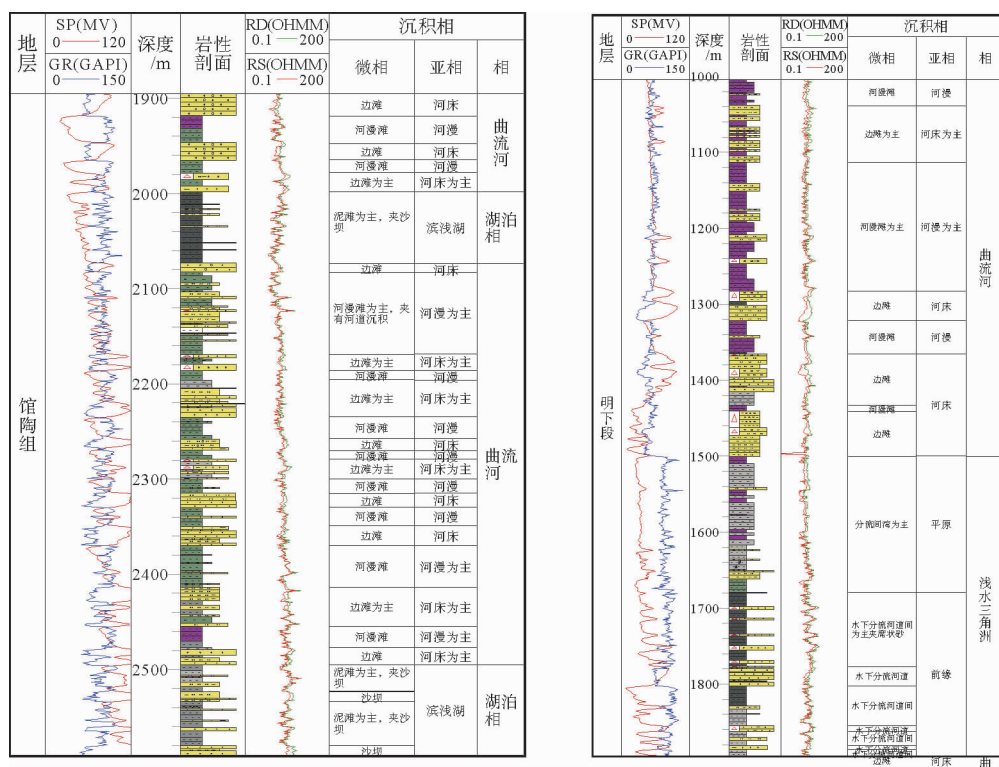


图 5 BZ23-3-A 井新近系单井沉积相

Fig. 5 The Neogene single well sedimentary facies of BZ23-3-A

造背景。国内外大量的油气勘探实践表明,在绝大多数含油气盆地(凹陷、坳陷)和成油系统内,油气藏的分布与烃源岩的分布及其生排烃中心具有密切的联系,即油气自源岩生成排出后,就近聚集在烃源岩分布区或其邻近地带,生烃中心基本上控制了油气田的分布范围^[12-16]。

从该区渤中 23-29 构造区钻井位置和已发现油气情况来看,距离渤中凹陷最近的 BZ23-3-A 井,在明上段 906 m 录井出现 D 级荧光显示,D 级荧光显示止于馆陶组 2 288 m,新近系录井油气显示层段长达 134 m,测井解释含油气层段厚度大,其中气层为 8.3 m,油层为 21.2 m,油水同层 21.1 m,而距渤中凹陷较远的 BZ29-3-B 井,在明下段 1 654 m 处录井出现 D 级荧光显示,荧光显示止于馆陶组 2 152 m,其油气显示深度较 BZ23-3-A 井变浅,显示层段也明显变短,仅为 71 m,测井解释含油气层段厚度减薄,其中油层仅为 8.9 m,油水同层为 8.6 m。由此可见,渤中 23-29 构造区新近系油气受渤中凹陷这个生烃中心控制作用明显,距离渤中凹陷越近,油气充注能力强,油气层厚度越大,发现的油气规模也越大,远离渤中凹陷,录井油气显示层段变短,油气充注能力减弱,油气层厚度越小,发现的油气规模也越小,因此,距离油源远近控制了该区新近系油气成藏规模大小。

3.2 切至潜山的长期活动断层

断裂是油气成藏的重要条件,尤其是在断陷盆地中,断裂带是油气运移的重要通道,并为油气聚集提供重要的封闭条件^[17-20]。本区发育的长期活动、早期活动和晚期活动 3 种伸展断裂在不同时期对地层沉积、圈闭和油气的控制作用各不相同,长期活动断裂控制了本区地层沉积,这类切穿潜山顶面的长期活动断层可作为油气发生垂向运

移的主要通道;早期活动断裂对古近系构造圈闭起到一定的控制作用,而在馆陶组沉积末期基本停止活动;晚期断裂断面较陡,使圈闭进一步复杂化并对油气进行再分配。

渤中 28-1 油田区仅发育早期活动断层(图 3),虽然这类断层切穿潜山不整合面,但由于晚期不活动,潜山已成藏的油气难以通过断层向上运移,从而导致 BZ28-1-E\F\G 井在新近系未见油气显示,仅在录井过程中见少量的气测异常。平面上,渤中 28-1 油田区断层规模小(图 1),且不发育长期活动断层(图 3),从而导致渤中 28-1 油田区新近系油气仅零星分布,没有规模成藏,油气主要富集在潜山地层中。

渤中 23-29 构造区发育长期活动断层和晚期断层(图 3),它们在空间上呈“包心菜式”断层组合,且长期活动断层切穿潜山不整合面。根据 BZ29-3-A 井新近系馆陶组与古生界潜山的天然气组分分析结果(表 2),该井馆陶组和古生界的天然气都以烃类组分为主,其中甲烷(CH_4)含量在 85% 以上,重烃(C_2+)含量超过 10%,非烃类气体主要为 CO_2 和 N_2 ,含量较低,总体表现为湿气特征。通过对比,发现馆陶组和古生界的天然气组分含量非常接近,表明这两个层位的天然气是同源的。根据 BZ23-3-A 井新近系和古生界油源对比(图 6),发现该井新近系明下段、馆陶组原油与古生界原油中 $\text{Ts} > \text{Tm}$ 、伽马蜡烷含量较低、4-甲基甾烷含量中等,且都表现出明显的 C_{27} 规则甾烷优势,具有较好的可对比性,这也反映浅层新近系的原油和深层古生界的原油存在良好的亲缘关系。由此可见,潜山中已成藏的油气沿着长期活动断层向上运移,晚期发育的断层对向上运移的油气进行再分配,最终在浅层新近系的圈闭中聚集成藏,这样浅层新近系油气和潜山油气在地化特征上表现出较好的亲缘关系,因此,切至潜山的长期活动断层对该区新近系油气成藏至关重要。

表 2 BZ29-3-A 井新近系馆陶组与古生界潜山的天然气组分

Table 2 Natural gas composition of Neogene Guantao Formation and Paleozoic buried hill from BZ29-3-A well

层位	深度/m	$\text{CH}_4/\%$	$\text{C}_2\text{H}_6/\%$	$\text{C}_3\text{H}_8/\%$	$i\text{C}_4\text{H}_{10}/\%$	$n\text{C}_4\text{H}_{10}/\%$	$i\text{C}_5\text{H}_{12}/\%$	$n\text{C}_5\text{H}_{12}/\%$	$\text{CO}_2/\%$	$\text{N}_2/\%$
馆陶组	2 464~2 470	87.25	6.51	2.5	0.58	0.84	0.38	0.39	0.25	1.3
古生界	3 026~3 038	85.05	5.65	2.24	0.53	0.81	0.38	0.47	3.5	1.37

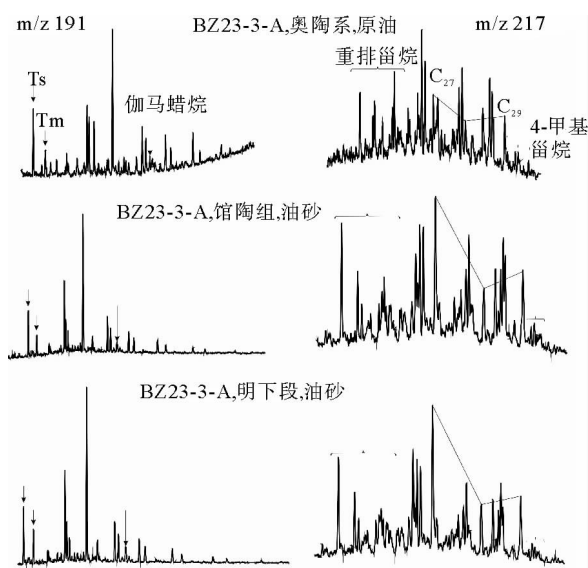


图 6 BZ23-3-A 井新近系油砂和古生界原油的藿烷和甾烷

Fig. 6 Sterane($m/z=217$) and terpane($m/z=191$) series of oil sand and crude oils from BZ23-3-A

3.3 “包心菜式”断层组合

“包心菜式”断层一般发生在凹中隆或构造脊部位,在下挤压张应力作用下形成,也称作“似花状构造”,其断层形成的花瓣可分为内花瓣和外花瓣,由于花瓣所处构造环境不同而具有不同的含油性^[9]。从构造特征来看,该区发育渤中 22 和渤中 23 两个构造脊,在走滑断裂和伸展断裂双重作用下,渤中 22 和渤中 23 构造脊被进一步复杂化,空间上呈“包心菜式”断层组合。在过 BZ28-1-E\G、BZ29-3-A 和 BZ23-3-A 井的地震剖面上(图 3),BZ23-3-A 井位于“包心菜式”断层的内花瓣,新近系明下段和馆陶组油气显示活跃,测井解释含油气层厚度大,其中气层为 8.3 m,油层为 21.2 m,油水同层 21.1 m,而 BZ29-3-A 井则位于“包心菜式”断层的外花瓣,新近系油气显示明显较 BZ23-3-A 井差,测井解释含油气层厚度小,仅气层 12.5 m,气水同层 14 m,无油层,距“包心菜式”断层外花瓣更远的 BZ28-1-G 井,仅在新近系馆陶组见到少量油气显示,测井解释无油气层。由此可见,内花瓣由于构造活动强烈,油气运移活跃,有利于油气聚集成藏,外花瓣或远离外花瓣的

地方,由于构造活动较弱,油气运移明显减弱甚至不发生油气运移,因此,“包心菜式”断层组合的不同部位决定了该区新近系油气的富集程度不同,即内花瓣比外花瓣油气更富集。

4 油气成藏模式

通过对该区浅层新近系油气藏特征的分析,剖析了其油气成藏主控因素,总结出其油气成藏模式为:远源阶梯式油气成藏模式,即渤中凹陷生成的油气,沿着潜山不整合面运移到距生烃灶较远的凸起区,在此过程中,油气优先沿着渤中 22/23 两个构造脊进行运移,在远离烃源灶的潜山圈闭中聚集成藏,受切至潜山的长期活动断层影响,潜山中已成藏的油气沿着这些长期活动断层向上运移,通过在渤海新构造运动影响下发育的晚期断裂进行再分配,最终在浅层新近系的圈闭中形成了 BZ23-3 和 BZ29-3 等叠合含油面积较大的构造和构造-岩性复合油气藏,从而构成了渤南低凸起中段独特的远源阶梯式油气成藏模式(图 7)。

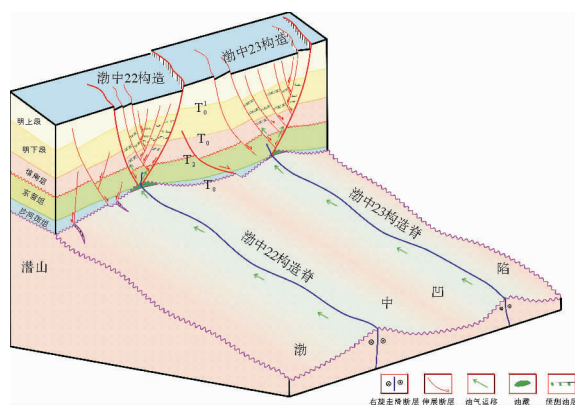


图 7 渤南低凸起中段油气成藏模式

Fig. 7 Oil and gas pool-forming model of the middle part of Bonan lower-uplift

5 结论

(1) 渤南低凸起中段新近系油气藏受油源、切至潜山的长期活动断层和“包心菜式”断层组合三者共同控制,其中,距离油源远近控制了新近系油气成藏规模大小;切至潜山的长期活动断层对新近系油气成藏至关重要;“包心菜式”断层组合的

不同部位决定了新近系油气富集程度,即内花瓣比外花瓣油气更富集。

(2)通过成藏主控因素研究,总结其油气成藏模式为远源阶梯式油气成藏模式,这对该区下步新近系油气勘探具有很现实的指导意义。

参考文献:

- [1] 吕丁友,侯东梅,杨庆红,等. 渤南低凸起西段构造成因机制与油气成藏规律研究[J]. 中国海上油气(地质), 2011, 23(4): 229-233.
- [2] 朱伟林,米立军,龚再升. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京:科学出版社, 2009.
- [3] 强昆生,吕修祥,周心怀,等. 渤海海域黄河口凹陷油气成藏条件及其分布特征[J]. 现代地质, 2012, 26(4): 792-800.
- [4] 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.
- [5] 李友川,黄正吉. 渤南凸起 BZ28-1 油田油气源分析及其地质意义[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 83-88.
- [6] 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(4): 513-517.
- [7] 王应斌,黄雷,刘廷海. 渤海新构造运动主要特征与构造型式[J]. 中国海上油气, 2012, 24(增刊1): 6-10.
- [8] 王应斌,黄雷,王强,等. 渤海浅层油气富集规律——以黄河口凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 637-641.
- [9] 何仕斌,朱伟林,李丽霞. 渤中坳陷沉积演化 and 上第三系储盖组合分析[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 38-43.
- [10] 朱伟林,李建平,周心怀,等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575-581.
- [11] 李明诚. 石油与天然气运移(第四版)[M]. 北京:石油工业出版社, 2013.
- [12] 胡朝元. 生油区控制油气田分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报, 1982, 2(2): 9-13.
- [13] 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.
- [14] 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, 2005, 25(10): 1-3.
- [15] 刘兴材,钱凯,吴世祥. 东营凹陷油气场环对应分布论[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 185-190.
- [16] 庞雄奇,张树林,吴欣松,等. 油气田勘探[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [17] 常津焕,赵立民. 辽河盆地断裂与油气运移和聚集[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(3): 13-17.
- [18] 罗群. 断裂控烃理论与油气勘探实践[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 751-756.
- [19] 柳广弟,张厚福. 石油地质学(第四版)[M]. 北京:石油工业出版社, 2009.
- [20] 张志攀. 黄骅坳陷歧口凹陷新生代主要断裂与油气成藏[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(5): 679-684.

DOMINANT FACTORS TO THE NEOGENE HYDROCARBON ACCUMULATION ON MIDDLE OF BONAN LOWER-UPLIFT

WANG Guangyuan, GUAN Dayong, LIU Pengbo, LU Fengting, HAN Rui, SU Kai

(Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: Breakthroughs of hydrocarbon exploration have been made in the Neogene in the middle part of the Bonan lower-uplift over the last two years. The study of hydrocarbon accumulation patterns upon latest exploration achievements, geological and geophysical data and testing results suggest that there are three controlling factors over oil and gas accumulation in the region. The distance of reservoir to source controls the reservoir size; the existence of long-lived faults, which cut down to the buried hill, provide pathways for hydrocarbon migration in the Neogene; and the position of reservoirs within the ‘cabbage’-type fault system plays a critical role in hydrocarbon enrichment. These understandings lead to the proposal of the model of stepped lateral migration from distant oil sources for hydrocarbon accumulation on the Bonan lower-uplift, which are of great significance to the exploration of Neogene hydrocarbon in the study area.

Key words: Bohai Sea; Bonan lower-uplift; Neogene; hydrocarbon accumulation; dominant factors