

文章编号: 0253-9985(2011)03-0327-06

渤海海域蓬莱 19-3 油田油气成藏特征新认识

郭永华, 周心怀, 凌艳玺, 李建平, 王飞龙, 王 军

[中国海洋石油(中国)有限公司 天津分公司 渤海油田勘探开发研究院, 天津 300452]

摘要: 蓬莱 19-3 油田是中国近海海域迄今发现的最大油田, 油气来源和晚期超大规模成藏研究是其发现以来地质家不断研究和争论的焦点。研究认为: 1) 蓬莱 19-3 油田原油主要源于沙河街组烃源岩, 部分源于东营组(渤中凹陷为主)烃源岩。油田周边存在两个非常明显的油气充注方向, 即: 油田的北西方向(渤中凹陷)和东南方向(庙西凹陷)。2) 渤中凹陷极为丰富的油源、长期的低势区和郑庐断裂的能量释放以及以不整合面为主导输导体系的优势成藏模式是蓬莱 19-3 油田形成的先决条件。3) 油藏内部井间温度的显著差异、原油密度、粘度和气体的变化规律, 以及直至海底的“气烟囱”较大面积存在等, 说明油藏油气源非常充足, 油田北侧至今存在超强充注, 晚期成藏特征明显。证实了蓬莱 19-3 油田是渤海海域一种典型的晚期大规模快速成藏类型。

关键词: 生物标志化合物; 郑庐断裂; 气烟囱; 新近系油藏; 晚期成藏; 蓬莱 19-3 油田; 渤海海域

中图分类号: TE112.3 **文献标识码:** A

New understandings of hydrocarbon accumulation
in Penglai 19-3 oilfield the Bohai waters

Guo Yonghua, Zhou Xinhua, Ling Yanyixi, Li Jianping, Wang Feibang and Wang Jun

(Exploration & Production Research Institute, Bohai Oilfield, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract As the biggest oilfield discovered offshore China so far, the Penglai 19-3 oilfield has aroused constant debates on oil sources and characteristics of massive-scale hydrocarbon accumulation in the late stage. From this study, we have brought up with three new understandings. First, oil in the Penglai 19-3 oilfield mainly originates from the source rocks in the Shahejie Formation and partially from source rocks in the Dongying Formation (in the Bozhong sag). Hydrocarbons charged reservoirs from two apparent directions, i.e., the NW direction (from the Bozhong sag) and the SE direction (from the Miaoxi sag). The favorable factors for the development of the Penglai 19-3 oilfield are extremely abundant oil source in the Bozhong sag, long-existing low-potential energy area and the energy release from the Tan-Lu Fault as well as favorable carrier system dominated by unconformities. Third, The significant differences of interwell temperature, change patterns of oil density, viscosity and gases and large-scale existence of “gas chimney” rooted in ocean floor reveal that this oilfield is obviously characterized by abundant hydrocarbon sources and late hydrocarbon accumulation. Oil charging is still intensive in the northern part of the field at present. All leads to the conclusion that the Penglai 19-3 oilfield is a typical massive-scale, rapid hydrocarbon accumulation in the late stage in Bohai Sea.

Key words biomarker compounds, Tan-Lu Fault, gas chimney, Neogene oil pool, hydrocarbon accumulation in the late stage, Penglai 19-3 oilfield, Bohai Sea

蓬莱 19-3 油田是渤海海域迄今发现的最大油田, 主要含油层段是新近系馆陶组和明下段, 探

明和控制级石油地质储量约 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其位于渤海海域渤中凹陷的东南, 渤南凸起的东北角。很多地

收稿日期: 2010-03-31; 修订日期: 2011-05-08

第一作者简介: 郭永华(1965-), 男, 硕士, 石油地质勘探、油气地球化学和成藏综合。

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX05023-001-004)。

质家认识到该油田是典型的晚期、快速超大规模成藏,但问题的焦点是,该油田油气的来源区域和主力生烃层系问题,以及晚期、快速超大规模成藏的机理与证据。自 1999 年 5 月发现该油田以来,相关研究就未曾间断过,但是鉴于蓬莱 19-3 油田地质情况非常复杂、渤中凹陷内部钻井资料较少等原因,已有的很多分析与认识也远未统一。上述问题也正是制约该地区油气成藏规律研究深入的关键。

1 前人成果与认识

自 1999 年蓬莱 19-3 油田发现以来,在渤海工作或关心渤海盆地的众多地质家和油气地球化学家们,就渤海蓬莱 19-3 油田的油气成藏规律进行了大量而卓有成效的工作。其中,研究比较系统的、代表性研究成果有:以渤海石油研究院李秀芬高工为代表的研究成果,以及对外协作中分别以包建平教授、王培荣教授和郝芳教授为代表的合作研究成果等等。其中,中海石油(中国)有限公司研究中心邓运华副主任和郝芳教授的成果则是地质家认识的集中代表。

在众家观点中,对渤中凹陷和庙西南凹源岩的贡献肯定者多,庙西北凹和黄河口凹陷争议大。原油是沙河街组和东营组源岩的混源油的观点略占主流。对渤中凹陷沙河街组烃源岩演化和贡献的认识存在较大偏差。对后者的认识差异是众多专家争论的最主要根源之一。虽然各家都承认蓬莱 19-3 油田原油沙河街组源岩贡献,但其贡献量认识差别较大,尤其是对渤中凹陷源岩的贡献认识明显不同。其中一派认为渤中凹陷东营组源岩尚处于成熟阶段,沙河街组源岩的成熟度偏高,因此,认为蓬莱 19-3 油田油气主要来自渤中凹陷,原油以东营组源岩为主,天然气则以渤中凹陷沙河街组烃源岩为主^[1];另一派则认为油田周边除渤中凹陷外的其他凹陷沙河街组源岩对蓬莱 19-3 油田具有主导性的贡献^[2],而渤中凹陷东营组和沙河街组烃源岩因埋深过大基本处于高过成熟阶段,对蓬莱 19-3 油田形成的贡献很小^{[2] ①②}。

因此,蓬莱 19-3 油田油气源的精细对比和

理性认识,以及渤中凹陷烃源岩热演化特点的评价已成为认识蓬莱 19-3 油田成藏的关键。

2 油源与成藏新认识

2.1 渤中凹陷烃源岩热演化特征

渤中凹陷位于渤海海域的中部,是渤海盆地中面积最大的凹陷,也是渤海海域油气最丰富的凹陷。近年来一系列的油气勘探,在凹陷的周边地区(包括凸起区)发现了诸如秦皇岛 32-6 渤中 3-2、渤中 2-1 秦皇岛 36-3 曹妃甸 11-1 等一系列的大中型油气田,它们最大特点是油多气少、成藏期晚^[3-6],说明渤中凹陷至今仍是一个生油为主的凹陷,也与整个渤海湾盆地富油贫气的特点相吻合。

从已钻井等资料来看,北缺东营组三段,南缺沙河街组三段的独特地质格局使得渤中凹陷在盆地、烃源岩演化及油气源等南北方向上存在一定的差异。渤中南部已钻井的测试结果表明,渤中凹陷南部地区地温梯度较高,CFD18-2E-1 井的地温梯度为 35.0 °C/km, BZ22-1-1 井的地温梯度最低为 36.8 °C/km,最高可以达到 40.0 °C/km。为凹陷南部东营组源岩成熟生烃创造了良好条件。渤中凹陷中北区由于地温梯度偏低以及可能异常压力的抑制作用,烃源岩热演化速率偏低(图 1),高、过成熟源岩面积不占主流。

据原油生标和天然气稳定碳同位素等资料推算,蓬莱 19-3 油田原油成熟度大致相当于 $R_o = 0.85\%$;天然气成熟度相当于 $R_o = 1.6\%$;1999 年渤中凹陷盆地模拟结果也证明:源岩大量排烃期在明化镇组下段沉积末至现今,明化镇组下段沉积末期沙河街组源岩成熟度 R_o 大于 1.0%,东营组二、三段源岩成熟度 R_o 大于 0.6% (图 2)。

现有多方面的资料表明,渤中凹陷古近系源岩主体尚处于正常的成熟-高成熟演化阶段,至今仍是一个富油的生烃凹陷^[7-9]。

2.2 油-源对比

为进一步确定蓬莱 19-3 油田的油源问题,前人和这次研究工作中利用周边凹陷已钻井资料

① 王培荣,宋浮庆.渤中凹陷油源指标的建立和混源油研究.中海石油天津分公司渤海油田勘探开发研究院,2003

② 郝芳,邹华耀.渤海东部新构造运动活动带油气成藏机理与成藏模式研究.中海石油天津分公司渤海油田勘探开发研究院,2005

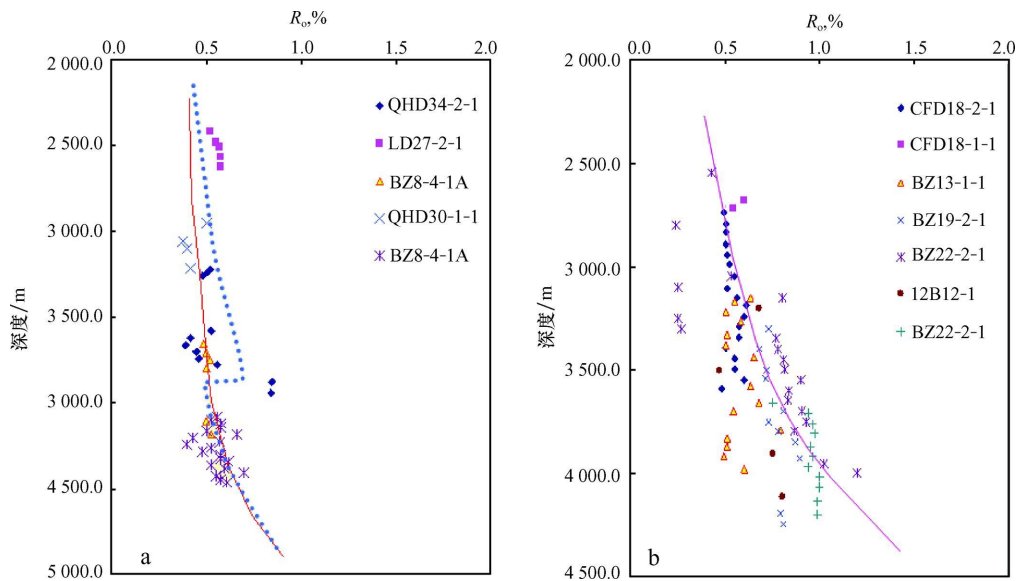


图 1 渤中凹陷烃源岩镜质体反射率与深度关系
Fig 1 Depth vs vitrinite reflectance of source rocks in the Bozhong sag
a 渤中凹陷中北部; b 渤中凹陷南缘

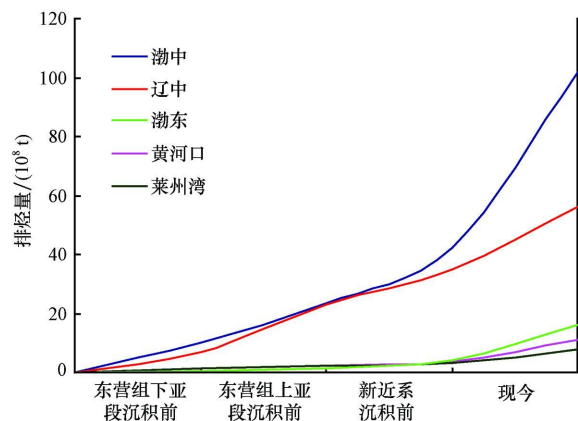


图 2 渤海海域主要凹陷各时期排烃量
Fig 2 Hydrocarbon expulsion amount in different periods in major sags of the Bohai Sea

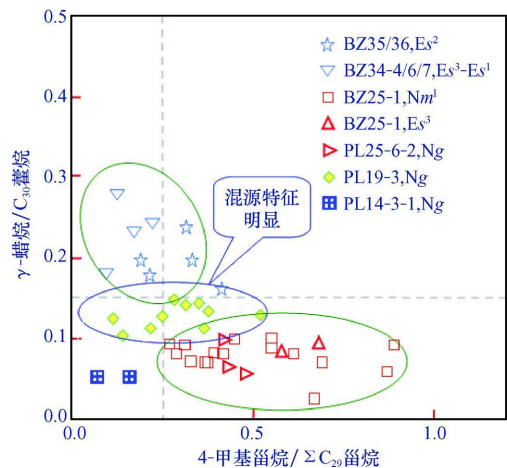


图 3 渤海海域蓬莱 19-3 油田原油指纹特征
Fig 3 Fingerprint characteristics of oil in the Penglai 19-3 oilfield, Bohai Sea

做了大量研究工作,发现通过源岩两组生标指标 (γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷、4-甲基 C_{30} 甾烷/ C_{29} 规则甾烷)可以很好地区分该地区东营组、沙河街组一段和沙河街组三段 3 套烃源岩及源自 3 套烃源岩的烃类(图 3)。蓬莱 19-3 油田原油的指纹对比表明:与周缘已发现 BZ22-2-1ST 井、秦皇岛 32-6 油田、渤中 3-1 等构造原油之间存在较好的可比性。而与高四环萘含量的 PL14-3-1 井原油亲缘关系较差。

从整体上看,蓬莱 19-3 原油生源特征表现为以沙河街组源岩为主,东营组源岩为辅。源于

沙河街组源岩的油气既有渤中凹陷,也有庙西凹陷,但源于东营组源岩的油气主要来自渤中凹陷,其贡献自北向南减少。

从蓬莱 19-3 油田原油生物指纹平面分布状况来看,原油指纹明显可以分为两个区带,说明其油源存在北西方向的渤中凹陷和东南方向的庙西凹陷(图 4)。

2.3 晚期、快速成藏的其他证据

蓬莱 19-3 油田主力油层发育于新近系明

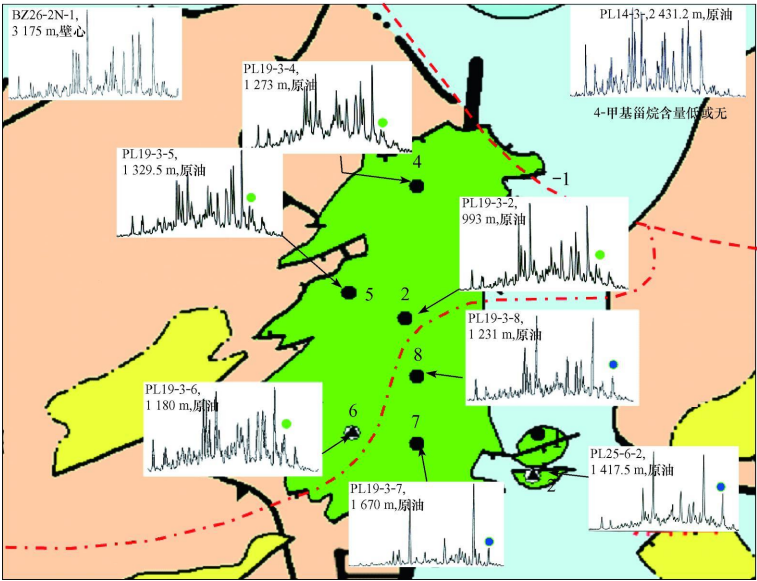


图 4 渤海海域蓬莱 19- 3 油田原油甾烷系列指纹平面分布

Fig 4 Horizontal distribution of fingerprints of steroid alkanes in the Penglai 19-3 oilfield

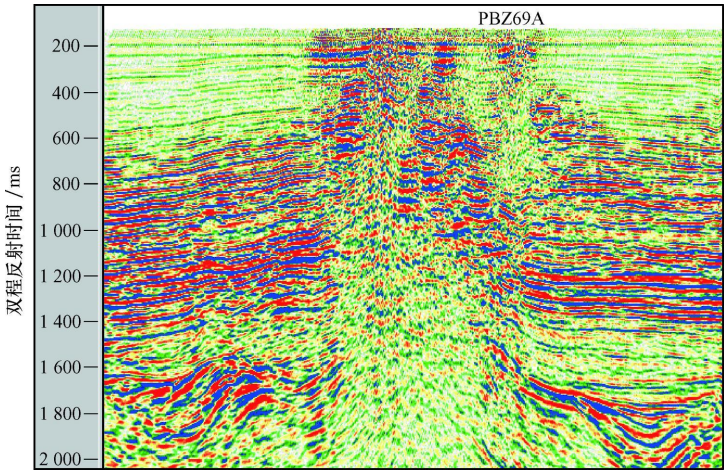


图 5 渤海海域蓬莱 19- 3 油田地震剖面

Fig. 5 Gas chimney on seismic profiles of the Penglai 19-3 oilfield

化镇组下段和馆陶组, 储集层岩性为河流相的陆源碎屑岩, 构造定型期较晚^[10]。加之 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的储量规模, 晚期、快速、超强充注是该油田成藏的必要条件。研究中陆续发现了油田这种晚期快速成藏的现象^[11]。

蓬莱 19- 3 构造上浅层 (400 ~ 600 m) 气富集, 钻井过程中发生井喷。综合解释气层厚度约 50 m。浅层砂泥未成岩, 封盖条件差, 加之断层多, 活动强烈, 浅层气易散失, 但至今仍没有散失。另外, 在构造范围内的地震剖面上气烟囱特征明显 (图 5), 而且面积大, 说明成藏期较晚, 油气充

注能力很强。

从图 6 中可以看到, 主力油层段已钻井井间温度差异规律性很强。1) 油藏现今温度远未均衡——同深度井间油藏温度的显著差异, 同时也说明油藏油气很充足, 充注时间距今很近 (甚至现今仍在充注), 说明蓬莱 19- 3 油田是典型的晚期成藏。2) 图中存在两个明显的峰温带 (PL19- 3- 4 井区和 PL19- 3- 8 井区), 代表了源自渤中凹陷和庙西南部凹陷两个油气充注方向, 其中油田的北端 PL19- 3- 4 井区油藏温度明显高于油藏平均温度, 也高于 PL19- 3- 8 井区峰温, 说明北

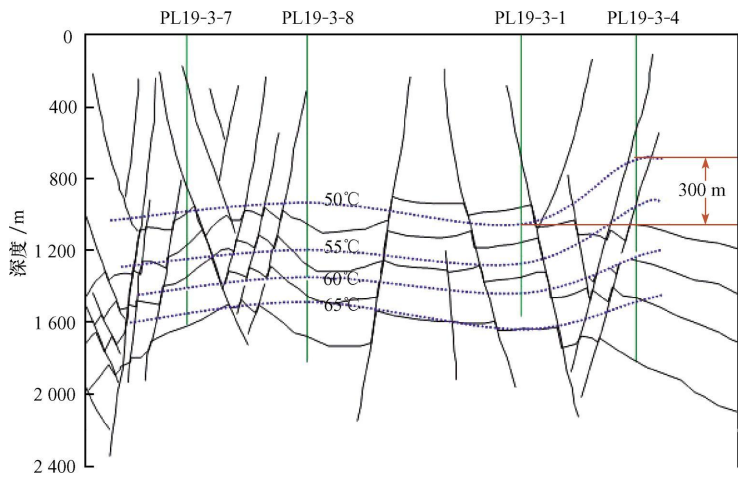


图 6 渤海海域蓬莱 19-3 油田主力油层段井间温度剖面

Fig 6 Profile of interwell temperature for the major oil-bearing intervals in the Penglai 19-3 oilfield

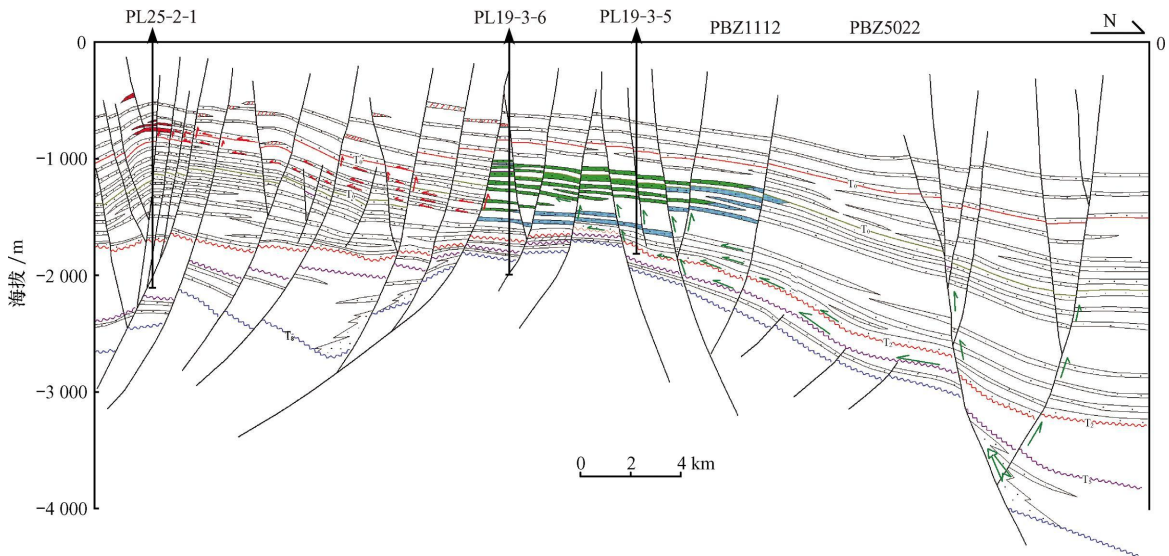


图 7 蓬莱 19-3、蓬莱 25-2 构造油气成藏模式

Fig 7 Hydrocarbon accumulation patterns in the Penglai 19-3 and Penglai 25-2 structures

侧渤中凹陷油气更为充足, 充注动力强, 是油形成的主要充注方向。

无独有偶, 由于生物降解等对油田原油的改造, 与上述现象相对应的是靠近油气充注端, 原油密度相对较轻, 溶解气也以湿气为主, 反之则为干气。结合周边地质资料和蓬莱 25-6 气田的天然气特点发现, 该气藏气体应主要源于蓬莱 19-3 油田 (图 7)。蓬莱 25-2 气藏天然气 CH_4 含量 99.47%, 稳定碳同位素 -47.5‰PDB , 属典型原油生物降解气, 但该构造无任何稠油油层, 庙西南部凹陷同样缺乏形成蓬莱 25-2 气田几十亿方规模气藏的物质基础; 而蓬莱 19-3 油田大规模原油

的生物降解气则完全具备了向蓬莱 25-2 气田提供气源的先决条件。

渤中凹陷巨大、优质、成熟烃源岩是蓬莱 19-3 油田大规模成藏的重要物质基础。长期的低势区和邻庐断裂的能量释放, 成为油气优先汇集的重要指向。主要运聚通道应为不整合面, 辅以断裂和砂岩输导层。这种以不整合面为主导输导体系的优势成藏模式, 是渤海海域主要大中型油气田的成藏模式之一 (如: 锦州 20-2 凝析气藏、绥中 36-1 油气田、秦皇岛 32-6 油田、CFD12-1 油气田、CFD11-1 油田、埕北油田、PL9-1 油田等)。

3 基本地质认识

1) 蓬莱 19-3 油田是渤海海域储量规模最大的油田, 主要含油层段是新近系馆陶组和明化镇组下段, 是渤海海域典型的受新构造运动影响的晚期快速成藏的典型代表。

2) 蓬莱 19-3 油田原油生源特征整体表现为: 以沙河街组源岩为主, 东营组源岩为辅。源于沙河街组源岩的油气既有渤中凹陷, 也有庙西凹陷, 但东营组源岩的贡献主要源于渤中凹陷, 其贡献自北向南减少。平面上, 存在两个非常明显充注方向, 即油田的北西方向 (渤中凹陷) 和东南方向 (庙西凹陷)。

3) 渤中凹陷古近系各套主力源岩新近纪以来才陆续进入生排烃峰期, 多套优质烃源岩大量生烃为环渤中地区新近系大规模成藏奠定了强大的物质基础, 渤中凹陷至今仍是一个富油的富生烃凹陷。

参 考 文 献

[1] 邓运华, 李秀芬. 蓬莱 19-3 油田的地质特征及启示 [J]. 中国石油勘探, 2001, 6(1): 68-71.
Deng Yunhua, Li Xufen, Geological characteristics and enlightenment of Penglai 19-3 oil field [J]. China Petroleum Exploration 2001, 6(1): 68-71

[2] 郭太现, 刘春成, 李秀芬, 等. 蓬莱 19-3 油田地质特征 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 26-28
Guo Taixian, Liu Chuncheng, Li Xufen, et al Geological characteristics and hydrocarbon accumulation pattern of Penglai 19-3 oil field [J]. Petroleum Exploration and Development 2001, 28(2): 26-28.

[3] 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 Xinhuai, Li Jianping, et al Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(4): 375-380, 385.

[4] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郑庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用 [J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1-10

Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng, Dominating action of Tanli Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area [J]. Acta Petroli Sinica 2007, 28(4): 1-10.

[5] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1-7
Gong Zaisheng, Wang Guochun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai sea [J]. Acta Petroli Sinica 2001, 22(2): 1-7

[6] 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(3): 145-156
Gong Zaisheng, Wang Guochun, He Qing. Neogene in bozhong depression and around is the main areas of its petroleum exploration [J]. China Offshore Oil and Gas 2000, 14(3): 145-156.

[7] 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.

[8] 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 waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 393-397

[9] 郭永华, 周心怀, 李建平, 等. 渤中凹陷北部 QHD34-4-1 井钻探的油气地质意义 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(6): 367-369
Guo Yonghua, Zhou Xinhuai, Li Jianping, et al Oil and gas geology of drilling well QHD34-4-1 in the Northern Bozhong Sag, Bohai sea [J]. China Offshore Oil and Gas 2008, 20(6): 367-369

[10] 陈书平, 吕丁友, 汤良杰, 等. 渤海海域新生代褶皱作用 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 455-461
Chen Shuping, Lü Dingyou, Tang Liangjie, et al The Cenozoic folding in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 455-461

[11] 孙玉梅, 李友川, 龚再升, 等. 渤海湾盆地渤中坳陷油气晚期成藏的流体包裹体证据 [J]. 矿物岩石地球化学通报. 2009, 28(1): 24-33.
Sun Yuemei, Li Youchuan, Gong Zaisheng, et al Fluid inclusion evidence for late stage petroleum accumulation, Bozhong depression, Bohai Gulf Basin [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry. 2009, 28(1): 24-33

(编辑 高 岩)