

引用: 杨东升, 刘志峰, 吴斌, 等. 渤海海域辽东凸起南段潜山构造演化及其对油气成藏的控制 [J]. 中国石油勘探, 2022,27(3):78-87.
Yang Dongsheng, Liu Zhifeng, Wu Bin, et al. Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation of buried hill in the south section of Liaodong Bulge, Bohai Sea[J]. China Petroleum Exploration, 2022,27(3):78-87.

渤海海域辽东凸起南段潜山构造演化及其 对油气成藏的控制

杨东升 刘志峰 吴斌 沈朴 陈少平 张莹 耿名扬

(中海油研究总院有限责任公司)

摘 要: 受多期构造运动影响, 渤海海域辽东湾坳陷辽东凸起潜山的构造演化过程相对复杂。根据新处理的三维地震资料和钻井资料, 分析辽东凸起南段潜山的地层结构和构造特征, 探讨构造演化及其对油气成藏的影响。研究结果表明: 辽东凸起南段潜山发育中生界和太古宇双层结构, 经历“潜山物质基础发育期(三叠纪中期之前)—潜山构造发育期(三叠纪中晚期—白垩纪末期)—潜山改造埋藏期(古新世—渐新世末期)—潜山稳定埋藏期(中新世—全新世)”4个阶段构造演化; 基底和强走滑作用控制辽东凸起南段潜山于沙三段沉积末期开始隆升, 止于东营组沉积末期。辽东凸起潜山发育走滑和伸展两类断裂, 走滑断裂控制了辽东凸起的构造格架, 对潜山的形成起到关键作用, 伸展—走滑双重作用控制潜山内幕裂缝的发育, 改善潜山内幕油气储集能力。

关键词: 辽东凸起南段; 内幕潜山; 结构特征; 构造演化; 勘探潜力

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2022.03.007

Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation of buried hill in the south section of Liaodong Bulge, Bohai Sea

Yang Dongsheng, Liu Zhifeng, Wu Bin, Shen Pu, Chen Shaoping, Zhang Ying, Geng Mingyang

(CNOOC Research Institute Co., Ltd.)

Abstract: Influenced by multi-stage tectonic movement, buried hill in Liaodong Bulge in Liaodong Bay Depression experienced complex tectonic evolution. Based on the newly processed 3D seismic data and drilling data, the stratigraphic structure and structural features of buried hill in the south section of Liaodong Bulge are analyzed, and the tectonic evolution and its influence on hydrocarbon accumulation are discussed. The results show that a double-layer structure of the Mesozoic and Archean were developed of buried hill in the south section of Liaodong Bulge, which experienced four stages of tectonic evolution, namely, the development stage of material basis of buried hill (before the Middle Triassic), development stage of buried hill structure (Middle-Late Triassic to the end of the Cretaceous), reconstruction and deep burying stage of buried hill (Paleocene to the end of the Oligocene), and the stably deep burying stage of buried hill (Miocene to Holocene); Controlled by the basement and strong strike slip, buried hill in the south section of Liaodong Bulge was uplifted from the deposition period of the end of the third member of the Oligocene Shahejie Formation (E_3s_3) to the end of Dongying Formation (E_3d). Two types of faults, strike slip fault and extensional fault, were developed in buried hill in Liaodong Bulge, among which strike slip fault controlled the structural framework of Liaodong Bulge and played a key role in the formation of buried hill, while the dual action of extension and strike slip controlled the fracture development in the interior of the buried hill and improved the reservoir performance.

Key words: south section of Liaodong Bulge, inner buried hill, structural feature, tectonic evolution, exploration potential

基金项目: 国家科技重大专项“中国近海富烃凹陷优选与有利勘探方向预测”(2016ZX05024-002)。

第一作者简介: 杨东升(1983—), 男, 宁夏银川人, 硕士, 2009年毕业于中国石油大学(北京), 高级工程师, 现主要从事中国海域油气勘探综合研究工作。地址: 北京市太阳宫南街6号中海油大厦A座, 邮政编码: 100028。E-mail: yangdsh@cnooc.com.cn

收稿日期: 2021-10-08; 修改日期: 2022-03-16

2 构造与演化特征

2.1 地层认识

根据辽东湾地区揭示潜山探井地层分布特征,建立了辽东凸起潜山内幕地层垂向分布序列,结合与邻

区秦皇岛 3-A 构造区地震相类比分析,认为辽东凸起南段发育中生界和太古宇双层结构,垂向上分别是孙家湾组—九佛堂组碎屑岩、义县组火山岩、太古宇变质花岗岩(图 2)。研究区中生界下白垩统发育孙家湾组—九佛堂组碎屑岩和义县组火山岩两套大的层系。

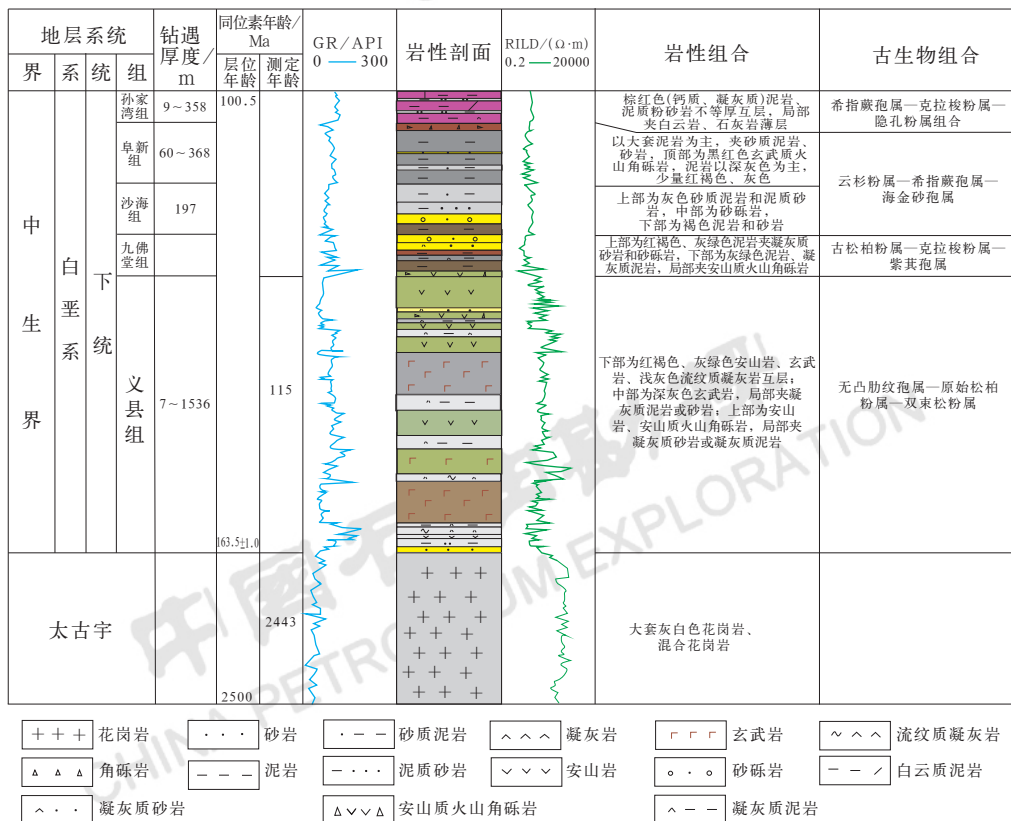


图 2 辽东凸起南段潜山内幕地层综合图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the inner buried hill in the south section of Liaodong Bulge

将辽东凸起南段潜山内幕与秦皇岛 3-A 构造区钻井揭示的前古近系地震反射特征进行类比,虽然二者相距 100km,但区域地层分布特征较为一致,具有一定的可对比性(图 3)。秦皇岛 3-A 构造区钻井揭示的阜新组—沙海组碎屑岩地震反射表现为中低频、较连续、弱振幅的特征;九佛堂组碎屑岩到火山岩过渡带表现为低频、较连续、强振幅的特征;义县组具有两分结构,上部表现为低频、杂乱、中—弱振幅的偏喷发相火山岩特征,下部为低频、连续、中—强振幅的火山碎屑岩夹玄武岩特征。辽东凸起南段孙家湾组—义县组地震反射特征和秦皇岛 3-A 构造区钻井揭示的地层地震反射特征均能有效类比。研究区整体地震反射特征和秦皇岛 3-A 构造区钻井揭示地层的地震相特征相似,结合地层垂向序列的分布特征,

在地震相上对孙家湾组—义县组进行了综合识别,从而确定辽东凸起南段呈现中生界覆盖太古宇的双层结构,其中中生界义县组上部火山岩和太古宇变质花岗岩为潜在勘探层系(图 3)。

2.2 构造特征

辽东凸起南段潜山内幕两个主要目的层界面分别为中生界义县组火山岩顶面 $T_{k_2}^0$ 和太古宇变质花岗岩顶面 T_g^8 。南东向地震剖面表现为两个主要目的层面西侧受辽中 1 号断裂控制,东侧下倾形成鼻状构造。通过断裂空间解释,在研究区内共解释出规则断裂 22 条,分别对断裂进行了详细划分(图 4)。

从断裂平面分布上看(图 4),太古宇到基底断裂逐渐增多,表现为晚期构造活跃的特点。按断裂性

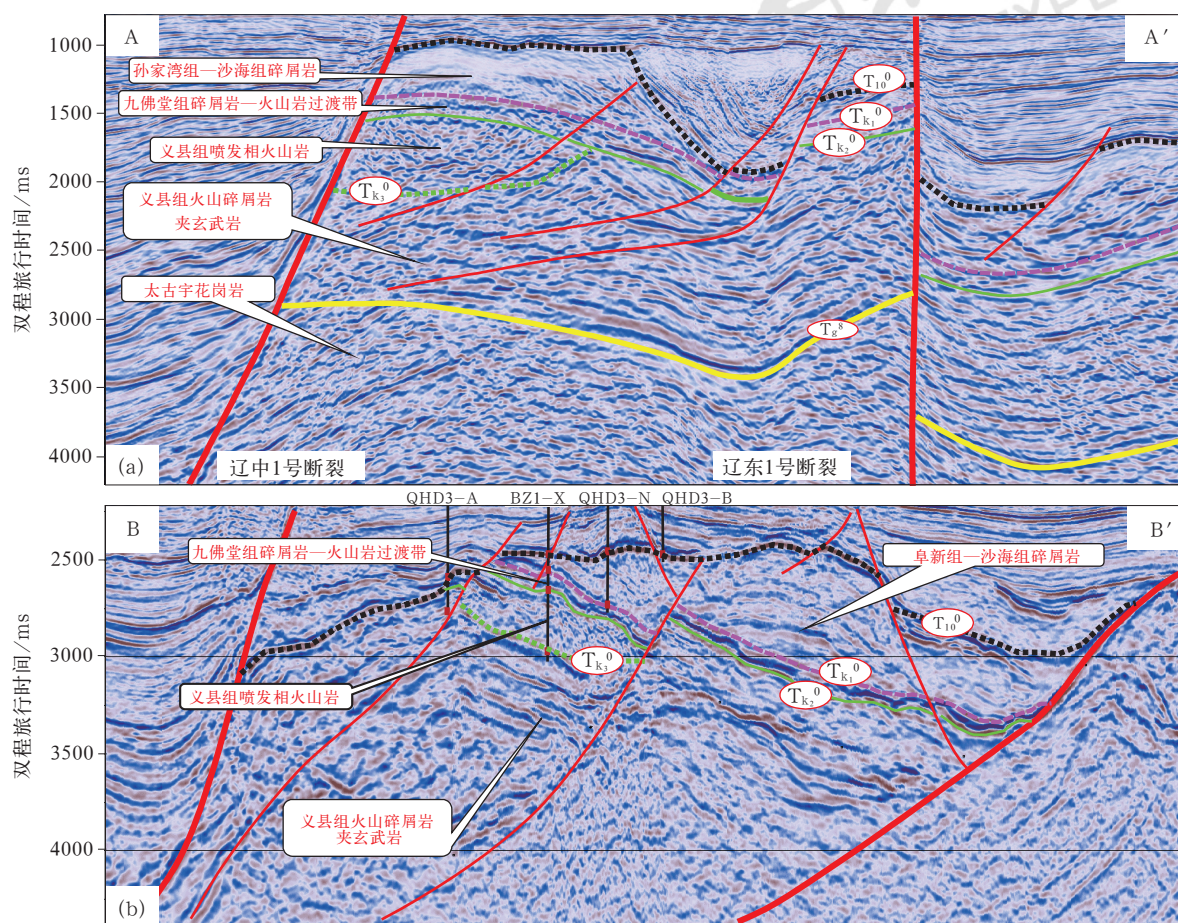


图3 辽东凸起南段潜山内幕 (a) 与秦皇岛3-A构造区 (b) 地震反射特征类比 (剖面位置见图1)

Fig.3 Comparison of seismic reflection characteristics between the inner buried hill in the south section of Liaodong Bulge (a) and QHD 3-A structural area (b) (section location is in Fig.1)

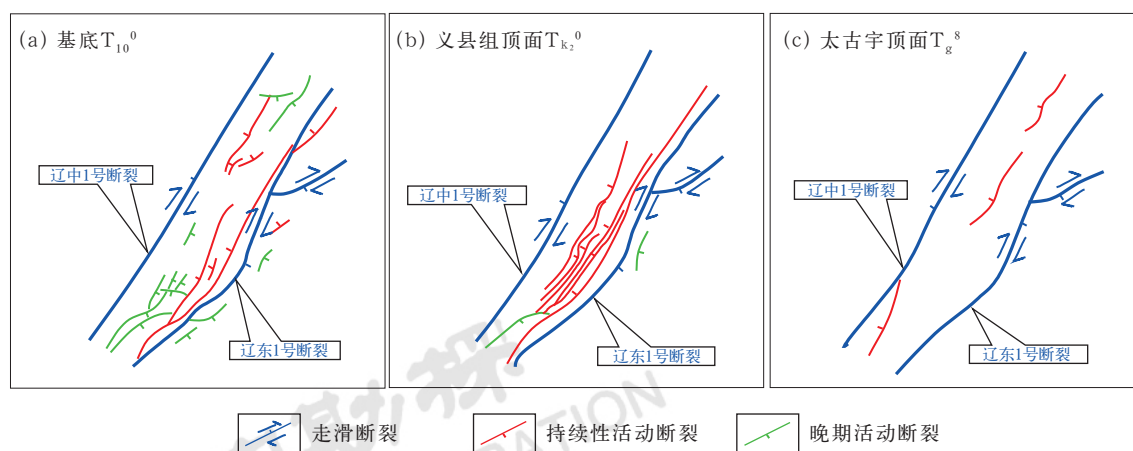


图4 辽东凸起南段潜山内幕关键界面断裂平面分布图

Fig.4 Plane fracture distribution of key interfaces in buried hill in the south section of Liaodong Bulge

质可划分为走滑断裂和伸展断裂, 伸展断裂又可划分为持续性活动断裂和晚期活动断裂, 持续性活动断裂为向西倾的断裂, 表现为中生代末期逆冲—新生代早期伸展的特点; 晚期活动断裂为向东倾的断裂, 为新

生代伸展断裂。北东向张扭性走滑断裂 (辽中1号断裂、辽东1号断裂) 控制了辽东凸起的构造格架, 对潜山的形成起到关键作用, 并控制辽中凹陷中洼 (简称辽中中洼) 孔店组—沙三段沉积, 其中辽中1号断

裂起到控制圈闭和油气运移的作用。中生代末期逆冲—古近纪早期伸展叠合断裂控制了潜山及沙四段—孔店组残洼的构造面貌,改善内幕储层物性。辽东凸起隆升期产生的伸展小断裂对改善潜山内幕裂缝起到重要的作用。

2.3 构造演化

渤海海域地处渤海湾盆地核心地带,其形成主要经历4个阶段:第一阶段是中元古代—晚古生代潜山物质基础发育阶段,属于沉积建造期,构造运动以整体垂直隆升为主,构造不发育;第二阶段为早—中侏罗世挤压造山与潜山构造发育阶段,该阶段主要受到来自远程印度板块、西伯利亚板块、扬子板块及西太平洋区板块(主要包括太平洋板块、伊泽奈崎—库拉板块、海域法拉隆板块)的俯冲、会聚和碰撞作用,在渤海湾广泛发育近东西向褶皱、逆冲等挤压构造样式;第三阶段为晚侏罗世—早白垩世陆内裂陷及潜山初始格局的形成阶段,渤海海域由大规模南北向挤压背景转换成北北东向(或北东向)走滑扭动和伸展背景,同时伴有强烈的岩浆活动;第四阶段为晚白垩世至今,包括古近纪继承性裂陷和新近纪热沉降。多阶段构造运动的强烈叠加改造和多板块联合作用造就了研究区现今复杂多样的构造格局^[28-33]。

辽东凸起的形成与渤海海域区域演化既有一定的相似性,也有特殊性。前人研究认为辽东凸起是在东三段(E_3d_3)沉积末期(30.3Ma)之后走滑隆升形成,将辽中凹陷和辽东凹陷分隔开来成为相对独立的沉积凹陷^[34]。结合渤海湾盆地区域演化特征与渤海海域两期关键的构造运动(印支运动、燕山运动)表现形式,详细分析辽东凸起南段潜山的成因与演化。辽东凸起南段位于郯庐断裂带辽东段,受基底和走滑双重控制,其形成过程可分为以下四大演化阶段:

(1) 潜山物质基础发育期(三叠纪中期之前)。早古生代—三叠纪中期,辽东凸起潜山所在的渤海地区为稳定克拉通发育期,构造活动相对稳定,构造运动整体以垂直隆升为主,沉积了下古生界碳酸盐岩及上古生界海陆交互相石灰岩、陆相碎屑岩,整体构造不发育^[35](图5a)。

(2) 潜山构造发育期(三叠纪中晚期—白垩纪末期)。三叠纪中晚期,华北板块在印支运动作用下结束克拉通稳定发育期。受近南北向强烈挤压作用影响,渤海地区出现一系列近东西向的复背斜,胶辽隆起一侧

抬升,研究区元古宇和古生界均被剥蚀(图5b)。白垩纪早期,研究区在燕山运动作用下,受太平洋板块北西向俯冲影响,区域应力场转为北西向挤压,渤海湾盆地受地幔热隆起影响而导致岩石圈减薄,进入大规模陆内裂陷期,沉积地层较厚(图5c)。白垩纪中—晚期,太平洋板块北西向持续俯冲,渤海地区前期形成的伸展断裂面发生逆冲反转,形成一系列挤压逆冲构造,研究区整体发生隆升,中生界部分地层遭受剥蚀(图5d)。

(3) 潜山改造埋藏期(古新世—渐新世末期)。孔店组—沙四段(E_2s_4)沉积期,受北西—南东向拉张应力和左旋走滑作用影响,沉积地层较厚(图5e)。沙三段(E_2s_3)沉积期,研究区受北西—南东向拉张应力和右旋走滑作用影响,在沙三段沉积末期,由于较强烈的走滑作用开始缓慢发生抬升(图5f)。东三段沉积期,受南北向斜向拉分伴随着郯庐断裂的强烈右旋走滑作用影响,辽东凸起南段周缘产生了局部范围内剧烈的差异沉降,辽中凹陷一侧沉积了较厚的东三段,辽东凸起南段隆升并反转形成(图5g)。东一段沉积期为持续断陷期,伸展作用叠加强烈的走滑作用,在东一段沉积末期研究区辽中1号断裂上升盘发生翘倾抬升,并遭受剥蚀,靠近辽中1号断裂一侧中生界上白垩统伴随持续的抬升出露遭受剥蚀,残留下白垩统,辽东1号断裂一侧残留孔店组—沙四段,辽东凸起潜山最终定型(图5h)。

(4) 潜山稳定埋藏期(中新世—全新世)。喜马拉雅运动以来,渤海海域进入断拗转换阶段,裂陷作用终止,转为裂后热沉降,研究区进入稳定埋藏阶段,沉积了较厚的新近系和第四系(图5i)。

通过构造演化分析发现,辽东凸起是一个“年轻的新生代潜山”,其形成时间(东三段沉积末期)相对于中生代—新生代裂谷盆地辽东湾拗陷的形成时间比较晚。辽东凸起南段的隆升、周缘的沉降与右旋走滑是一个统一的斜向拉分过程。整个辽东湾区域构造演化与辽东凸起南段内幕地层认识吻合,进一步印证了辽东凸起南段潜山内幕地层认识的可靠性。

3 构造演化对油气成藏的控制作用

印支、燕山等多期构造活动叠加古近纪强烈的走滑改造作用,控制了辽东凸起南段潜山内幕圈闭、裂缝的形成;潜山形成演化过程中改变的生烃沉积地层的翘倾产状及形成的断裂体系控制了潜山内幕油气运聚成藏。

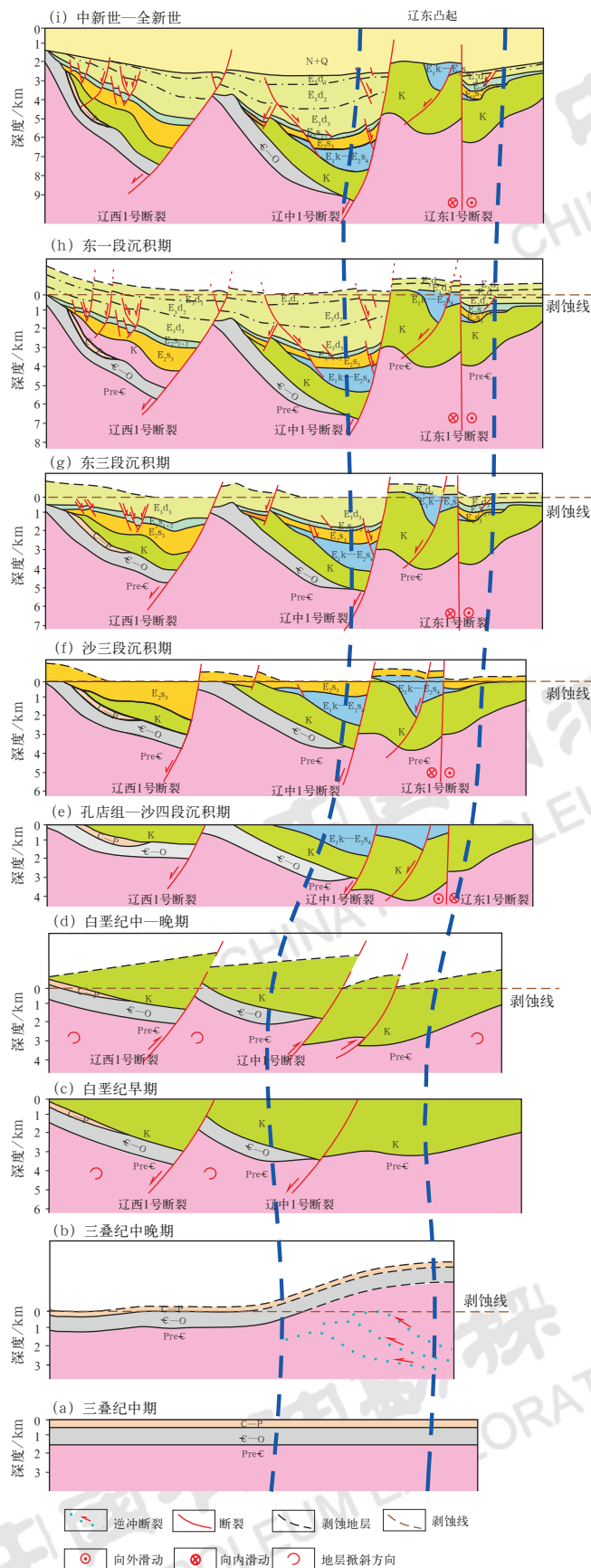


图5 辽东凸起构造演化模式图

Fig.5 Tectonic evolution pattern of Liaodong Bulge

3.1 利于潜山内幕圈闭的形成

辽东凸起南段潜山内幕圈闭的形成受控于构造演化。在沙三段—东营组沉积末期,受强烈的走滑作用影响,辽东凸起潜山在辽中1号断裂上升盘发生翘倾抬升,并遭受剥蚀,靠近辽中1号断裂一侧中生界出露,辽东1号断裂一侧残留掀斜的高角度孔店组—沙四段,辽东凸起潜山最终定型(图5e—h)。该时期构造演化直接控制了潜山内幕圈闭的形成。两套目的层圈闭受辽中1号走滑断裂控制,形成内部小断裂复杂化的断鼻型潜山,中生界义县组火山岩顶面圈闭面积为 99km^2 ,太古宇变质花岗岩顶面圈闭面积为 70km^2 。两套目的层整体圈闭面积大,且埋深相对较浅,具备形成规模型潜山内幕油气藏的圈闭条件。

3.2 促进潜山内幕裂缝型储层的发育

辽东凸起南段潜山内幕发育中生界义县组火山岩与太古宇变质花岗岩,渤海义县组火山岩和太古宇变质花岗岩是被证实的有效储层,非均质性强。多期构造活动叠加控制潜山内幕产生大量构造裂缝,增加储集空间,促进辽东凸起南段潜山内幕发育裂缝型储层。

目标区中生界发育裂隙喷发式火山,火山岩体面积为 156.7km^2 ,最大厚度为 1033m 。火山岩潜山优质储层受火山岩相、构造作用和流体作用控制。针对研究区中生界义县组火山岩,采用地球物理手段,优选振幅方差属性、 10Hz 分频相干属性和倾角属性进行多属性融合(图6),结合地震相特征识别出

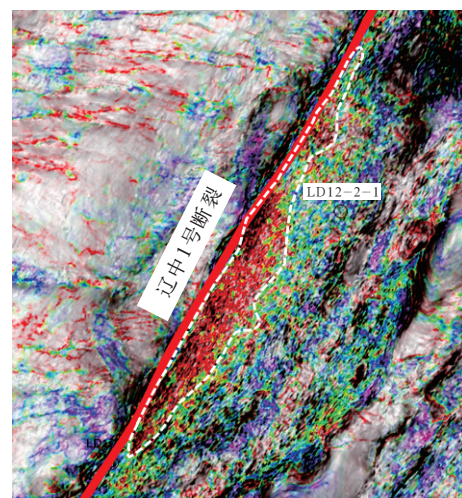


图6 辽东凸起南段中生界义县组火山岩方差属性—相干属性—倾角属性的多属性融合图

Fig.6 Multi attribute fusion map of variance-coherence-dip angle of volcanic rocks of the Mesozoic Yixian Formation in the south section of Liaodong Bulge

火山口—近火山口相主要分布于辽中1号断裂附近，火山口—近火山口相表现为杂乱、差连续、中振幅的地震反射特征（图7），为有利油气富集的相带，多属性刻画火山口—近火山口相面积为94.5km²，最大

厚度为950m。利用地震相和融合属性对裂缝带进行综合预测，研究区火山岩圈闭内裂缝极发育的Ⅰ类优质储层面积为50km²，裂缝较发育的Ⅱ类储层面积为24.5km²（图8）。

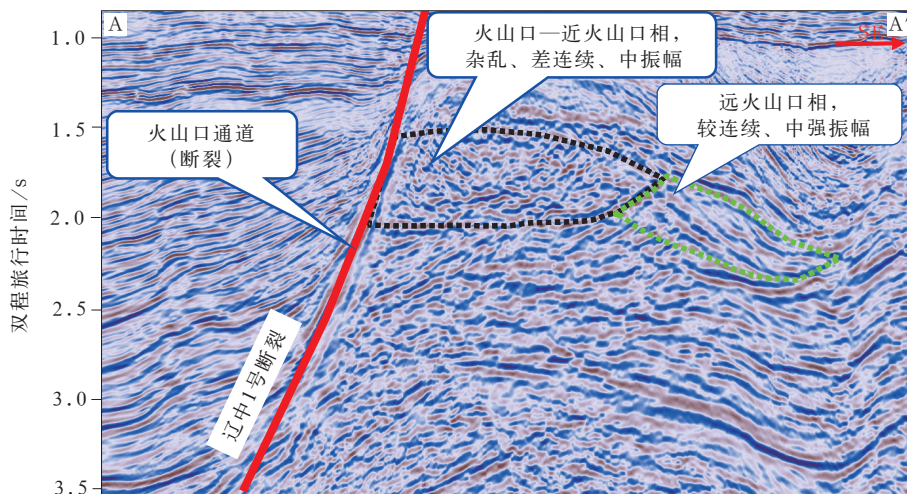


图7 辽东凸起南段中生界义县组火山岩地震相特征（剖面位置见图1）

Fig.7 Seismic facies characteristics of volcanic rocks of the Mesozoic Yixian Formation in the south section of Liaodong Bulge (section location is in Fig.1)

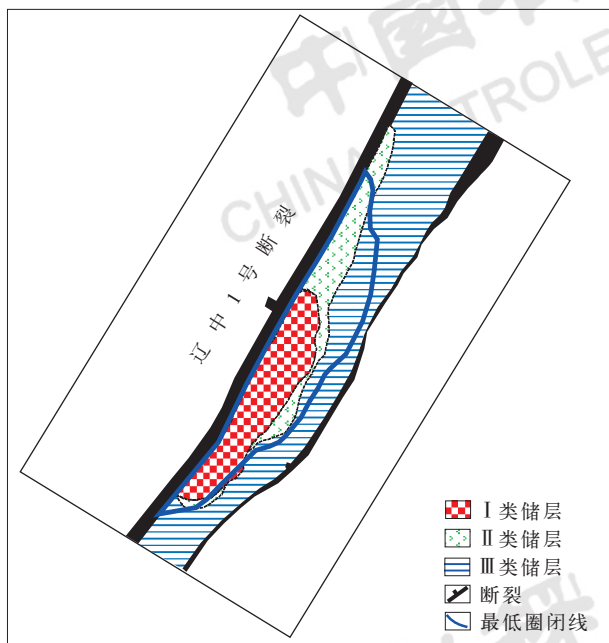


图8 辽东凸起南段中生界义县组火山岩储层综合预测

Fig.8 Comprehensive prediction of volcanic reservoirs of the Mesozoic Yixian Formation in the south section of Liaodong Bulge

渤海海域已钻井太古宇变质花岗岩中石英、长石含量超过90%，黑云母等暗色矿物含量为5%左右，是形成优质储层的物质基础。太古宇潜山优质储层受控于构造作用和流体作用。辽东凸起南段潜山内幕燕

山晚期以来经历强烈挤压、拉张、剥蚀，同时受大型张扭性辽中1号断裂和辽东1号断裂强烈的走滑作用影响，多期构造活动叠加，极易形成裂缝型储层。通过蚂蚁体属性预测太古宇变质花岗岩圈闭范围内裂缝较为发育，尤其靠近辽中1号走滑断裂附近裂缝更为密集（图9）。

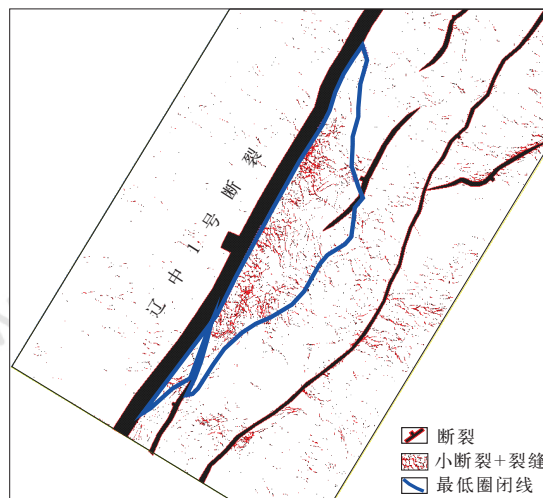


图9 辽东凸起南段太古宇变质花岗岩裂缝预测图

Fig.9 Prediction of fractures in the Archean metamorphic granite in the south section of Liaodong Bulge

3.3 控制潜山内幕油气的运聚成藏

辽东凸起南段紧邻辽中中洼, 辽中中洼是已证实的富生烃洼陷, 发育沙四段、沙三段、沙一段和东三段4套有效烃源岩, 辽中中洼资源量大^[36-38]。辽东凸起在走滑作用控制的古近纪隆升过程中对烃源岩沉积地层形成拖拽效应, 从而加大了烃源岩沉积地层向东侧翘倾的比例。根据油气“分隔槽”理论, 辽中中洼的烃源岩层系向东侧翘倾比例占30%~50%, 辽东凸起南段是辽中中洼油气运聚的有利指向区, 经计算

向该带汇聚的资源量占辽中中洼总资源量的30%。目前整个辽东凸起南段陡坡钻井较多, 仅发现旅大6-2油田, 区带剩余资源量仍较大。辽中中洼主力烃源岩在东二段沉积末期开始大量排烃。辽东凸起南段中生界火山岩潜山内幕油气运聚具有源—储直接对接充注和油气先沿边界断裂垂向运移后侧向充注两种运聚模式。太古宇潜山内幕油气运聚具有源—储直接对接充注模式。东二段沉积末期烃源岩大量排烃以来, 太古宇潜山一直与有效烃源岩直接对接, 油气充注条件优越(图10)。

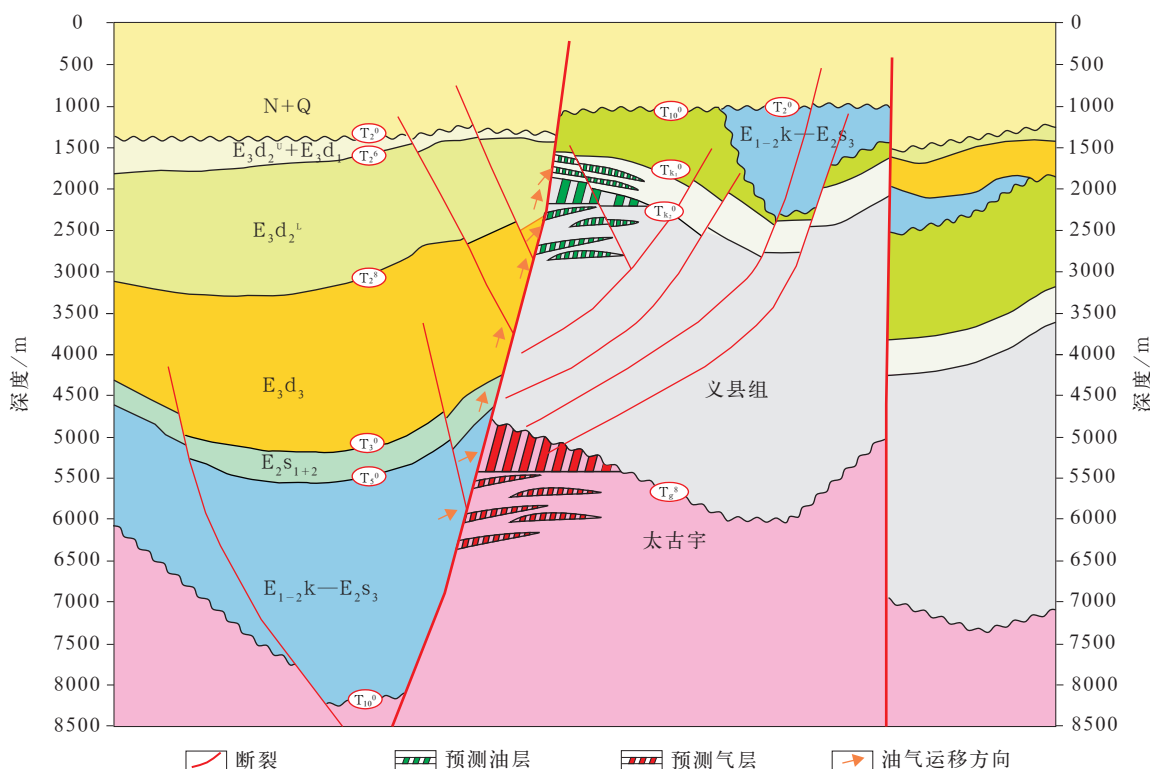


图10 辽东凸起南段潜山内幕油气成藏模式图

Fig.10 Hydrocarbon accumulation pattern in the inner buried hill in the south section of Liaodong Bulge

4 结论

(1) 辽东凸起南段潜山呈太古宇—中生界双层结构, 经历了“潜山物质基础发育期—潜山构造发育期—潜山改造埋藏期—潜山稳定埋藏期”四大构造演化过程, 受基底和古近纪强走滑作用控制, 辽东凸起的隆升始于沙三段沉积末期, 止于东营组沉积末期。

(2) 辽东凸起南段中生界义县组火山岩与太古宇变质花岗岩为有利勘探层系, 伸展—走滑双重作用控制潜山内幕发育裂缝型储层, 两套目的层紧邻辽中凹陷生烃中心, 具有圈闭面积大、储—盖配置发育、运

移条件优越等有利成藏条件, 是辽东凸起有利的勘探新领域。

参考文献

- [1] 施和生, 牛成民, 侯明才, 等. 渤中13-2双层结构太古宇潜山成藏条件分析与勘探发现[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(2): 12-20.
Shi Hesheng, Niu Chengmin, Hou Mingcai, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation conditions of double-layered Archeozoic buried hill and major discovery of Bozhong 13-2 Oil and Gasfield, Bohai sea area[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(2): 12-20.
- [2] 邓运华, 徐建永, 孙立春, 等. 国家科技重大专项支撑中国海油增储上产[J]. 石油科技论坛, 2021, 40(3): 56-71.

- Deng Yunhua, Xu Jianyong, Sun Lichun, *et al.* National science and technology major project supports CNOOC for increase of its offshore oil reserves and production[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2021,40(3):56–71.
- [3] 薛永安, 李慧勇. 渤海海域深层太古界变质岩潜山大型凝析气田的发现及其地质意义[J]. *中国海上油气*, 2018,30(3):1–9.
- Xue Yongan, Li Huiyong. Large condensate gas field in deep Archean metamorphic buried hill in Bohai Sea: discovery and geological significance[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(3):1–9.
- [4] 郭颖, 王粤川, 韦阿娟, 等. 潜山内幕火山岩储层特征及控制因素: 以渤海海域秦皇岛 30A 地区白垩系为例[J]. *沉积学报*, 2017,35(2): 343–355.
- Guo Ying, Wang Yuechuan, Wei Ajuan, *et al.* Characteristics and controlling factors of buried–hill inner volcanic reservoir: an example from the Cretaceous in Qinhuangdao 30A area, offshore Bohai Sea, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2017,35(2):343–355.
- [5] 胡贺伟, 李慧勇, 于海波, 等. 渤中 21–22 构造区断层演化及其对油气的控制作用[J]. *东北石油大学学报*, 2016,40(2): 36–46.
- Hu Hewei, Li Huiyong, Yu Haibo, *et al.* Fracture evolution of Bozhong 21–22 structure area and their control on hydrocarbons[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2016,40(2):36–46.
- [6] 邓运华. 渤海大中型潜山油气田形成机理与勘探实践[J]. *石油学报*, 2015,36(3):253–261.
- Deng Yunhua. Formation mechanism and exploration practice of large–medium buried–hill oil fields in Bohai Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015,36(3):253–261.
- [7] 王纯, 张研, 吴小洲, 等. 辽河滩海地区东部构造演化与潜山带内幕油气聚集[J]. *东北石油大学学报*, 2017,41(1):43–51.
- Wang Chun, Zhang Yan, Wu Xiaozhou, *et al.* Tectonic evolution of eastern Liaohe offshore and hydrocarbon accumulation of interior buried hill[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2017,41(1):43–51.
- [8] 周心怀, 张如才, 李慧勇, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷深埋古潜山天然气成藏主控因素探讨[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2017, 41(1):43–49.
- Zhou Xinhui, Zhang Rucai, Li Huiyong, *et al.* Major controls on natural gas accumulations in deep–buried hills in Bozhong Depression Bohai Bay Basin[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2017,41(1):43–49.
- [9] 张震, 张新涛, 徐春强, 等. 渤海海域 428 凸起潜山构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. *东北石油大学学报*, 2019,43(4):69–77.
- Zhang Zhen, Zhang Xintao, Xu Chunqiang, *et al.* Tectonic evolution and its controlling on hydrocarbon accumulation of 428 buried hill in Bohai Sea[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2019,43(4):69–77.
- [10] 周心怀, 胡志伟, 韦阿娟, 等. 渤海海域蓬莱 9–1 大型复合油田潜山发育演化及其控藏作用[J]. *大地构造与成矿学*, 2015,39(4):680–690.
- Zhou Xinhui, Hu Zhiwei, Wei Ajuan, *et al.* Tectonic origin and evolution and their controls on accumulation of Penglai 9–1 large composite oilfield buried hill in Bohai Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015,39(4):680–690.
- [11] 李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 等. 渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏[J]. *地学前缘*, 2010,17(4):64–89.
- Li Sanzhong, Suo Yanhui, Dai Liming, *et al.* Development of the Bohai Bay Basin and destruction of the North China Craton[J]. *Earth Science Frontiers*, 2010,17(4):64–89.
- [12] 牛成民, 于海波, 胡安文, 等. 渤海湾盆地渤中坳陷天然气成藏主控因素与有利勘探方向[J]. *中国石油勘探*, 2021,26(6):152–164.
- Niu Chengmin, Yu Haibo, Hu Anwen, *et al.* Main controlling factors of natural gas accumulation and favorable exploration target in Bozhong Depression, Bohai Bay Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021,26(6):152–164.
- [13] 张宏国, 吕丁友, 官大勇, 等. 辽东湾地区辽中凹陷东营组湖底扇成藏差异性研究[J]. *中国石油勘探*, 2021,26(3):95–106.
- Zhang Hongguo, Lv Dingyou, Guan Dayong, *et al.* Study on hydrocarbon accumulation difference of sub–lacustrine fan in Dongying Formation in Liaozhong Sag, Liaodong Bay[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021,26(3):95–106.
- [14] 谭忠健, 胡云, 袁亚东, 等. 渤海海域裂缝性地层井漏机理研究: 以渤中 34–9 油田为例[J]. *中国石油勘探*, 2021,26(2):127–136.
- Tan Zhongjian, Hu Yun, Yuan Yadong, *et al.* Study on lost circulation mechanism in fractured formation: a case study of BZ34–9 Oilfield, Bohai Sea, East China[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021,26(2):127–136.
- [15] 谢玉洪, 高阳东. 中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(1):20–30.
- Xie Yuhong, Gao Yangdong. Recent domestic exploration progress and direction of CNOOC[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(1):20–30.
- [16] 李维莲, 刘震, 刘俊榜, 等. 辽东湾地区辽西低凸起油气田成藏地质条件的差异[J]. *石油与天然气地质*, 2010,31(5):664–670.
- Li Weilian, Liu Zhen, Liu Junbang, *et al.* Differences of geological conditions of hydrocarbon accumulation among fields in the Liaoxi Low Uplift, the Liaodong Bay[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010,31(5):664–670.
- [17] 张江涛, 吴奎, 黄晓波, 等. 辽西凹陷北洼新生代断裂特征及控藏作用[J]. *中国海上油气*, 2017,29(5):39–47.
- Zhang Jiangtao, Wu Kui, Huang Xiaobo, *et al.* Fault system characteristics and its control on hydrocarbon accumulation of the Cenozoic in northern Liaoxi Sag, Bohai sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2017,29(5):39–47.
- [18] 柳永军, 徐长贵, 吴奎, 等. 辽中南洼走滑反转带的形成及其对油藏的控制作用[J]. *大庆石油地质与开发*, 2016,35(3):16–21.
- Liu Yongjun, Xu Changgui, Wu Kui, *et al.* Formation of the strike–slip inverse structural belt and its controlling action on the oil reservoirs in Liaozhong south subsag [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2016,35(3):16–21.
- [19] 周东红, 李建平, 郭永华. 辽西低凸起及辽中凹陷压力场特征与油气分布关系[J]. *断块油气田*, 2012,19(1):65–69.
- Zhou Donghong, Li Jianping, Guo Yonghua. Relationship between pressure field characteristics and oil and gas distribution in the low bulge and Liaozhong Sag in western Liaoning[J]. *Fault–Block Oil & Gas Field*, 2012,19(1):65–69.
- [20] 周心怀, 刘震, 李维莲. 辽东湾断陷油气成藏机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- Zhou Xinhui, Liu Zhen, Li Weilian. Accumulation mechanism of oil and gas in Liaodongwan Depression[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009.
- [21] 徐长贵, 周心怀, 邓津辉. 渤海锦州 25–1 大型轻质油气田的发现与启示[J]. *中国石油勘探*, 2010,15(1):34–38.
- Xu Changgui, Zhou Xinhui, Deng Jinhui. Discovery of large–scale Jinzhou 25–1 light oil & gas field in Bohai sea area and its enlightenment[J]. *China Petroleum Exploration*, 2010,

- 15(1):34-38.
- [22] 周心怀, 项华, 于水, 等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2005,32(6):17-19.
Zhou Xinhui, Xiang Hua, Yu Shui, *et al.* Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS Neo-Archean metamorphic buried hill oil pool in Bahai Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005,32(6):17-19.
- [23] 刘乐, 杨明慧, 李春霞, 等. 辽西低凸起变质岩潜山裂缝储层及成藏条件分析[J]. 石油与天然气地质, 2009,30(2):188-194,222.
Liu Le, Yang Minghui, Li Chunxia, *et al.* Fractured reservoirs in metamorphic buried-hills in the Liaoxi low uplift and their hydrocarbon accumulation conditions[J]. Oil & Gas Geology, 2009,30(2):188-194,222.
- [24] 项华, 周心怀, 魏刚, 等. 渤海海域锦州 25-1 南基岩古潜山油气成藏特征分析[J]. 石油天然气学报, 2007,29(5):32-35.
Xiang Hua, Zhou Xinhui, Wei Gang, *et al.* Paleao-buried hill hydrocarbon accumulation characteristics of Jinzhou block Nan 25-1 in Bohai Area[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007,29(5):32-35.
- [25] 吕丁友, 杨明慧, 周心怀, 等. 辽东湾坳陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2009,30(4):491-496.
Lv Dingyou, Yang Minghui, Zhou Xinhui, *et al.* Structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the buried hills of the Liaoxi low salient, the Liaodong Bay Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2009,30(4):491-496.
- [26] 徐长贵, 任健, 吴智平, 等. 辽东湾坳陷东部地区新生代断裂体系与构造演化[J]. 高校地质学报, 2015,21(2):215-222.
Xu Changgui, Ren Jian, Wu Zhiping, *et al.* Cenozoic fault system and tectonic evolution of the eastern Liaodong Bay Depression[J]. Geological Journal of China Universities, 2015, 21(2):215-222.
- [27] 侯贵廷, 钱祥麟, 宋新民. 渤海湾盆地形成机制研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998,34(4):503-509.
Hou Guiting, Qian Xianglin, Song Xinmin. The origin of the Bohai Bay Basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1998,34(4):503-509.
- [28] 吴智平, 侯旭波, 李伟. 华北东部地区中生代盆地格局及演化过程探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2007,31(4):385-399.
Wu Zhiping, Hou Xubo, Li Wei. Discussion on Mesozoic basin patterns and evolution in the Eastern North China block[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007,31(4):385-399.
- [29] 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]. 地质前缘, 2003,10(增刊1):199-206.
Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng, *et al.* Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay province[J]. Earth Science Frontiers, 2003,10(S1):199-206.
- [30] 赵重远. 渤海湾盆地的构造格局及其演化[J]. 石油学报, 1984,5(1):1-8.
Zhao Zhongyuan. Structural pattern and evolution of Bohaiwan Basin, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1984,5(1):1-8.
- [31] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001,37(6):845-851.
Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic Time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 37(6):845-851.
- [32] 徐长贵, 侯明才, 王粤川, 等. 渤海海域前古近系深层潜山类型及其成因[J]. 天然气工业, 2019,39(1):21-31.
Xu Changgui, Hou Mingcai, Wang Yuechuan, *et al.* Type and genesis of Pre-Tertiary deep buried hills in the Bohai Sea area[J]. Natural Gas Industry, 2019,39(1):21-31.
- [33] 徐长贵, 彭靖淞, 柳永军, 等. 辽中凹陷北部新构造运动及其石油地质意义[J]. 中国海上油气, 2016,28(3):20-30.
Xu Changgui, Peng Jingsong, Liu Yongjun, *et al.* Neotectonic movement and its petroleum geology significance in northern Liaozhong Sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016,28(3):20-30.
- [34] 彭靖淞, 徐长贵, 吴奎, 等. 郑庐断裂带辽东凸起的形成与古辽中洼陷的瓦解[J]. 石油学报, 2015,36(3):274-285.
Peng Jingsong, Xu Changgui, Wu Kui, *et al.* Formation of Liaodong Uplift and collapse of the ancient Liaozhong Sag in Tan-Lu fault zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015,36(3):274-285.
- [35] 付立新, 楼达, 李宏军, 等. 印支-燕山运动对大港探区古潜山形成的控制作用[J]. 石油学报, 2016,37(增刊2):19-30.
Fu Lixin, Lou Da, Li Hongjun, *et al.* Control effect of Indosinian-Yanshan movement on the formation of buried hill in Dagang exploration area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(S2):19-30.
- [36] 吴玉坤, 胡明毅, 柯岭, 等. 利用地震相识别优质烃源岩: 以辽中凹陷沙三段为例[J]. 沉积学报, 2013,31(2):366-373.
Wu Yukun, Hu Mingyi, Ke Ling, *et al.* Identification of high-quality source rocks by seismic facies: taking the third member of Shahejie Formation in Liaozhong Depression as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013,31(2):366-373.
- [37] 朱筱敏, 董艳蕾, 杨俊生, 等. 辽东湾地区古近系层序地层格架与沉积体系分布[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 2008,38(增刊1):1-10.
Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Yang Junsheng, *et al.* Sequence framework and sediment system of Eogene in Liaodong Bay area[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008,38(S1):1-10.
- [38] 黄晓波, 徐长贵, 王丽君, 等. 辽东凸起潜山油气成藏条件及模式[J]. 特种油气藏, 2013,20(5):73-76.
Huang Xiaobo, Xu Changgui, Wang Lijun, *et al.* Buried-hill reservoir forming conditions and models in the Liaodong uplift[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013,20(5):73-76.