

渤海湾盆地济阳坳陷隐蔽潜山油藏新发现及其意义

马立驰, 王永诗, 景安语

(中国石化 胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 针对渤海湾盆地济阳坳陷下古生界碳酸盐岩潜山勘探陷入低谷, 勘探方向不明的实际情况, 通过深入分析其成藏条件, 特别是圈闭有效性问题, 打破了传统成藏模式束缚, 取得了勘探的成功。新发现了埕北 313 负向构造型、埕北古斜 14 斜坡型和陈家庄侧向对接高渗透储层型等 3 种新的潜山油气成藏模式。这 3 种新的模式使早期认为没有勘探潜力的潜山负向构造带、圈闭有效性差的斜坡带和圈闭侧向不封堵的潜山断块成为有利的勘探目标区。从断层活动特征角度对圈闭有效性进行了分析, 同时提出了“类砂泥岩”潜山储层发育模式, 为潜山圈闭有效性分析提供了一个全新的思路。

关键词: 成藏模式; 负向构造型; 斜坡型; 侧向对接高渗透储层型; 断层封堵; 类砂泥岩模式; 济阳坳陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Discovery and significance of subtle buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu

(Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: The exploration of carbonate buried-hills in the Lower Paleozoic in the Jiyang Depression of the Bohai Bay Basin are at a minimum now, and the exploration targets are not clear. Hydrocarbon accumulation conditions were analyzed, especially the effectiveness of traps, which broke the shackles of traditional accumulation models and achieved exploration success. Three new buried-hill reservoir models have been discovered, namely the Chengbei 313 negative structure, the Chengbei Guxie 14 slope, and the Chengjiazhuang laterally adjacent high-permeability reservoirs. These three new models make the buried-hill negative structure, the slope zone with poor trap effectiveness, and the laterally unblocked buried hill fault blocks that were considered to have no exploration potential earlier become favorable exploration targets. The effectiveness of traps was analyzed from the aspects of fault activity characteristics. At the same time, a development model of ‘sand-like mudstone’ buried hill reservoirs was provided, which provided a new idea for the effectiveness analysis of buried hill traps.

Key words: reservoir pattern; negative structure; slope; laterally docked high-permeability reservoir; fault block; analogous sand-mud pattern; Jiyang Depression; Bohai Bay Basin

济阳坳陷是渤海湾盆地的一个次级构造单元, 其下古生界主要为碳酸盐岩, 地层厚度达 1 400 m, 油气主要来源于第三系, 为新生古储型油藏。该类潜山油藏经过 50 余年的勘探, 已经探明储量近 2 亿吨, 先后发现了义和庄、桩西、埕岛、富台等多个潜山油藏, 是胜利油田增储上产的重要阵地。从潜山多年的发展历程看, 济阳坳陷潜山勘探经历了残丘块断潜山勘探和多样性潜山勘探两大阶段后, 现今进入到隐蔽潜山勘探阶段^[1-7]。随着勘探程度的不断提高, 对济阳坳陷潜山成藏认识也逐渐加深, 形成了与不同勘探阶段相适应的成藏模式。特别是近几年, 随着一些新的潜山专探井和兼探井的

成功, 发现了埕北 313、埕北古斜 14、陈 41-斜 1 等与传统成藏模式相“矛盾”的潜山油藏。这些油藏的发现, 促使我们重新审视已有的成藏模式。本文旨在相似性中寻找差异性, 并尝试建立具有特殊性的成藏模式, 为下一步济阳坳陷乃至整个渤海湾盆地碳酸盐岩潜山挖潜提供新的方向。

1 传统潜山油气藏成藏模式

通过对济阳坳陷已有的潜山油藏进行解剖, 上报探明储量的潜山油藏从储层类型上分为 2 类: 一类是风化壳型潜山油藏; 另一类是潜山内幕型油藏。发现的储量主要是以风化壳型潜山油藏为主,

占整个储量的 80%。不论是哪种类型的潜山,从潜山油藏圈闭类型来讲主要有 2 种模式:一种是潜山山头风化残留形成的自圈型构造圈闭;另一种是由于断层的存在形成的断块型潜山圈闭成藏。断块型潜山是当前济阳坳陷的断陷盆地中已发现潜山油藏的主体。对于断块型潜山经过多年来的实践,已经形成了基本共识,并建立了相应的成藏模式^[1-5](图 1)。

从济阳坳陷下古生界潜山风化壳储层统计来看,风化壳储层集中段厚度一般在 250 m 左右。当潜山断层为反向断层时,潜山山头侧向大多对接中生界,由于中生界碎屑岩混杂堆积,物性一般较差,该类型一般侧向封堵条件都较好,圈闭有效性基本落实(图 1a)。在潜山发育顺向断层的情况下,如果断层断距小于 250 m,其没有断开风化壳储层集中发育段,断层下降盘断块高部位与侧向对接的断层上升盘断块风化壳储层低部位连通,从而影响其圈闭有效性(图 1b)。只有当潜山顺向断层断距大于 250 m 且未对接到奥陶系冶里组—亮甲山组内幕油藏的低部位的情况,潜山才可成藏(图 1c)。

2 近期新发现的潜山油气藏

2.1 埕北 313 负向构造型潜山油气藏

埕北 313 潜山位于济阳坳陷东北部的埕岛潜

山东南部。该区已经在埕北 30、埕北 302、埕北 306 等多个潜山山头上报下古生界探明储量 3 000 多万吨。由于勘探程度不断提高,该潜山带正向构造都已经有了井钻遇油气藏。在传统潜山成藏模式指导下,现存的潜山断块都存在如下问题:负向构造高部位侧向都对接正向构造的低部位,由于 2 个断块之间断层断距小(小于 250 m)(图 1b),所以负向构造圈闭大多因为侧向圈闭有效性问题而不能成藏,故该潜山带近十余年没有钻探新井。

整体上看,该潜山带位于东部渤中凹陷烃源岩最大生烃中心深度之上,从油源角度讲其具有整带含油的可能。2017 年借助新采集的高精度三维资料,精细开展了潜山构造重新解释。在埕北 302 和埕北 306 两个正向构造之间的鞍部发育了一系列负向构造圈闭。埕北 313 潜山南北 2 个方向侧向对接物性较差的中生界下部层段,对接关系较好,封堵条件较好。埕北 313 潜山西侧对接埕北 302 块上寒武统崮山组和长山组,这 2 个组物性较差,可以充当遮挡层。该潜山向东高部位侧向对接埕北 306 井含水层,该套储层试油日产油 81 t、水 66 m³。如果东侧的断层不封堵,该断块就有可能与埕北 306 井具有统一的含油底界,从而处于油水界面以下而不能成藏(图 2)。研究中发现埕北 313 东侧断层古近纪后不活动,为一个老断层,这

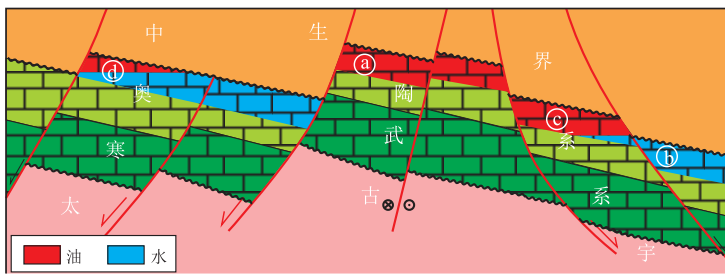


图 1 渤海湾盆地济阳坳陷潜山传统成藏模式

Fig.1 Traditional reservoir model of buried-hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

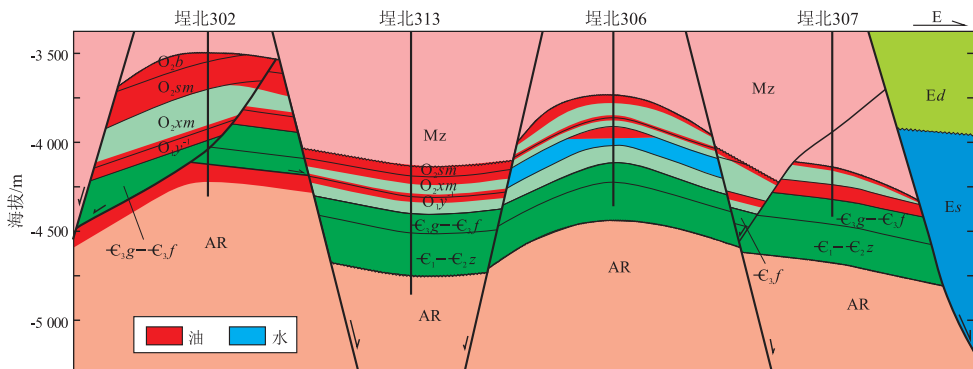


图 2 渤海湾盆地济阳坳陷埕岛地区埕北 313 潜山油藏剖面

Fig.2 Profile of Chengbei 313 buried-hill reservoir, Chengdao area, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

类断层往往后期胶结作用较强,因而具备一定的封堵能力。另外该断层为燕山期郯庐断裂左旋走滑作用下形成的 NE 向走滑断层,断面较直立,具有一定的走滑压扭特征,从断层性质分析认为也应该具有一定的封堵能力。如果封堵的话,该潜山带负向构造就都有可能成藏。2017 年大胆钻探了一口具有一定风险的探井——埕北 313 井。埕北 313 井两次试油分别获得日产油 64 t、气 15 055 m³ 和油 325 t、气 10 823 m³ 的高产油气流。该井的成功,打破了潜山两侧由于断层断距小与渗透性地层对接而连通的传统认识(图 1⑥),从而使负向构造带的潜山勘探成为可能。

2.2 埕北古斜 14 斜坡型潜山油气藏

埕北古斜 14 潜山位于济阳拗陷埕岛潜山中部的埕北 20 潜山带。按照传统的潜山成藏模式,该潜山带构造高部位已经先后钻探了胜海古 2、埕北古 4、埕北古 11 等 10 多口井并获得了成功。在已有的有利圈闭都已经钻探完毕的情况下,剩下的区域主要是潜山顶面没有断距的斜坡带(图 1④)。传统模式下认为斜坡带油气主要聚集在斜坡的高部位,斜坡的腰部由于潜山顶面断层不发育而不具备圈闭条件(或者说不具备有效圈闭条件),因而该潜山带勘探已经没有了进一步拓展的空间。

构造活动和断层性质重新分析发现了新的圈闭。济阳拗陷潜山在经历了印支期挤压抬升和燕山期郯庐断裂左旋剪切拉张作用后,早期发育的断层由于后期区域性的抬升而剥蚀殆尽,潜山顶面表现为没有断距,从而潜山表现为一个大的斜坡。而实际上潜山内部老断层两侧地层是不一致的,是存在断距的(图 3)。借助新的三维资料,对断层两侧同相轴和波组特征有变化的老断层发育的地方开

展了二次重新解释。经过重新解释,新增加 10 多个圈闭。

断层封堵性分析落实了圈闭有效性。受传统成圈模式思维束缚,认为前述新增加的圈闭即使存在也会因为风化壳连通问题而不具备成藏条件。2018 年,在埕北 313 井获得成功的启示下,我们大胆分析认为斜坡部位的老断层后期基本不活动,应该也具有一定的封堵能力。一旦其具有封堵能力,斜坡部位就会由于老断层的存在而发育多个断块圈闭,从而改变了只有整个斜坡最高部位靠自身圈闭才可成藏的思维束缚。据此钻探了埕北古斜 14 井,该井下古生界 3 792.00~3 938.56 m 井段上马家沟组 10 mm 油嘴放喷求产,日产油 52 t。该井的成功,打开了潜山斜坡带由于没有“断层”而不能形成圈闭的瓶颈,极大地拓宽了潜山勘探的战场。

2.3 侧向对接第三系高渗透储层型潜山油气藏

陈家庄潜山位于济阳拗陷中部陈家庄凸起北部。该地区为一个高凸起区,主要的勘探层系是新近系的馆陶组,下古生界潜山油气藏只有零星的发现。近几年在该区的勘探过程中发现了一类特殊的潜山油气藏,即潜山风化壳高部位侧向对接高渗透性的第三系储层。在以往的勘探中,这种接触关系的潜山大多都由于潜山圈闭有效性的原因而失利,但是在本区先后有几口潜山兼探井获得成功。这些成功大大冲击了传统潜山圈闭有效性的认识,从而也说明我们对地下未知世界了解得还不够深入。

2.3.1 陈 41-斜 1 潜山风化壳—砂岩对接油气藏

陈 41-斜 1 井位于陈 43 井西北断块高部位,该井 1 509.39~1 515.35 m 投产于奥陶系潜山,6 mm 油嘴求产日产原油 40 t,不含水。而该井圈闭高部位侧向对接陈 43 井东营组大套砂岩,该套

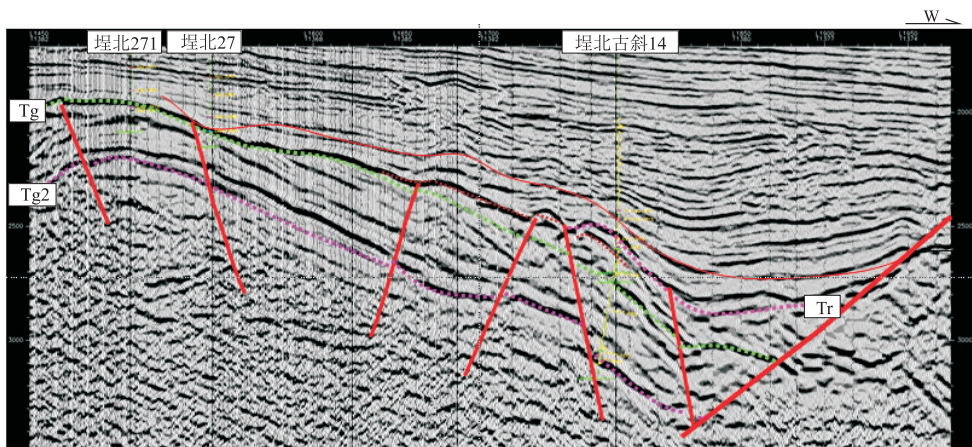


图 3 渤海湾盆地济阳拗陷埕岛地区埕北古斜 14 地震剖面

砂岩试油日产水 80 m³(图 4)。从陈 43 和陈 41-斜 1 井 2 口井的测试数据分析,位于两者之间的断层必是封堵性非常好的断层。而从该断层活动性看,其在新近纪还在活动,这种特殊的成藏模式同埕北 313 井老断层封堵相比更具有偶然性。笔者分析其成藏可能有 2 个原因:一是从浅层断层组合和断面发育特点看,断层具有一定的走滑压扭性质,但这一走滑应该是新近纪右旋走滑作用的结果;二是有可能为后期断层泥涂抹作用的结果。

2.3.2 罗古 2 潜山风化壳—生物灰岩对接油气藏

罗古 2 井位于罗 31 井北部潜山断块。该断块高部位通过断层侧向对接罗 31 井沙一段生物灰岩(图 5)。罗 31 井沙一段底部生物灰岩集中发育,3 层厚度达 30 m,中间最厚一层厚 12 m,3 套生物灰岩分别试油出水都在 20 m³以上,物性非常好。罗古 2 井 1 789.24~1 864.93 m,油管放喷,日产油 47 t,日产水 116 m³。罗 31 井和罗古 2 井之间的断层同上面的陈 43 井断层一样,后期断层依然活动,其封堵作用值得我们进一步思考。

陈家庄地区最近新发现的侧向对接高渗透储层型潜山油气藏,给前期认为侧向圈闭有效性差的高凸起型潜山勘探又进一步指明了方向。严格来讲,该种类型潜山成藏较难,今后的勘探中要加强该类潜山的断层活动性和封堵性的分析,从而提高勘探成功率。

3 新发现潜山油气成藏控制因素剖析

以上 3 类潜山圈闭要想成藏,核心是圈闭的有

效性问题。圈闭有效性受何种因素控制目前还没有确定的答案^[8-28]。本文从如下 2 个方面进行了探讨。

3.1 断层特征与其封堵性能

济阳拗陷下古生界经历了印支期挤压抬升、燕山期左旋负反转断陷和喜马拉雅期继承断陷、差异断陷以及走滑等阶段最终定型。印支、燕山和喜马拉雅 3 期构造运动叠合,潜山最终表现为张性正断为主的特征。但是部分地区挤压形成的逆断层在后期拉张作用下仍然有残留,表现为逆断特征。同时郯庐断裂左行和右行走滑影响较大,走滑断层普遍发育,对构造、地层和成藏的展布起重要作用。特别是燕山期与郯庐断裂左旋走滑同时形成的北东向走滑断层本身就具有压扭性质,因而封闭性较强。其次研究区存在很多燕山期之后不活动的断层,后期不活动的老断层往往胶结充填作用较强。岩心上发现这时期形成的断层基本上都被方解石所充填。

整体上看,上文中论述的负向型的埕北 313 井、斜坡式的埕北古斜 14 井以及高渗透型的潜山控圈断层都具有北东向的走滑性质,特别是前两者都在古近纪后不活动,因而圈闭有效性更好。

3.2 “类砂泥岩”潜山储层发育模式及其封堵性能

如图 3 所示的油藏剖面,当前对潜山储层认识都是按照层状储层发育模式来建立的。该模式的建立基于如下认识:通常情况下,潜山顶面 250 m 以内一般都解释了多套 1 类层和 2 类层,同时潜山风化壳都发育裂缝,这些裂缝将多套 1 类层和 2 类

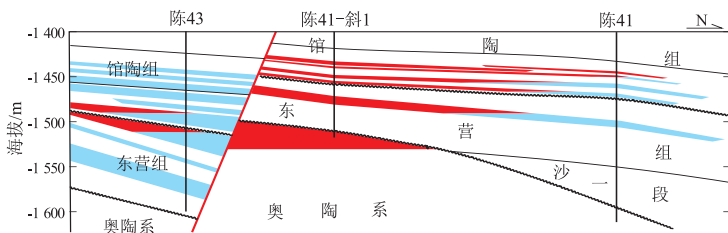


图 4 渤海湾盆地济阳拗陷陈家庄地区陈 41-斜 1 潜山油藏剖面

Fig.4 Profile of Chen 41-Xie 1 buried-hill reservoir, Chenjiazuang area, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

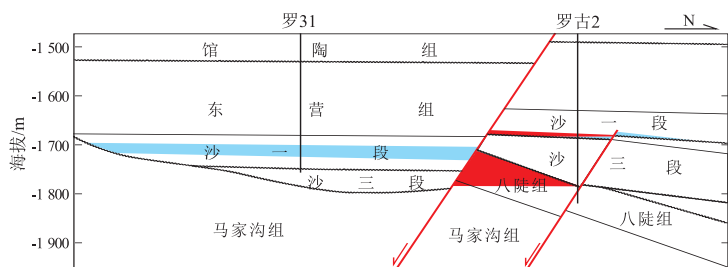


图 5 渤海湾盆地济阳拗陷陈家庄地区罗古 2 潜山油藏剖面

Fig.5 Profile of Luogu 2 buried-hill reservoir, Chenjiazuang area, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

层沟通形成一个完整的储层集中发育段,故把这套储层集中发育段当成一个统一体,按照层状储层模式来分析现有的油气成藏。

济阳拗陷潜山油藏出现了与传统潜山模式相矛盾的成藏模式,除了用断层封堵性来解释之外,笔者大胆提出另一种可能。现在的潜山风化壳测井解释的1类层和2类层之间往往发育致密段或者物性较差的3类层,风化壳储层净毛比很少有大于30%的,也就是说潜山风化壳储层发育了大量的非渗透性隔层。在1类层和2类层之间裂缝不发育的情况下,能否把1类层和2类层看成碎屑岩储层结构中的砂岩,而其他层段看成碎屑岩储层结构中的泥岩,如果这种“类砂泥岩”潜山储层发育模式成立的话,潜山侧向封堵性的分析将开辟一个新的天地。这样的话,很多认为侧向封堵性不好的潜山圈闭都可纳入勘探视线。勘探实践中我们也确实发现,一是很多潜山取心井裂缝不是很发育,二是大多数裂缝都被方解石所充填而失去渗流能力。

因此,碳酸盐岩潜山“类砂泥岩”储层结构的特殊性有可能是决定特殊圈闭有效性的核心。

4 结论

(1) 济阳拗陷下古生界经历了多期、多种力学性质改造,挤压—拉张—走滑3种机制并存,拉张为主要的控藏因素,挤压和走滑对后期控藏也起到重要作用。新发现的几种特殊的成藏模式都与挤压和走滑断层有关。

(2) 碳酸盐岩地层的断裂结构复杂,特别是古近纪后不活动的断层受后期胶结作用改造较大,封堵性很强。

(3) 碳酸盐岩储层发育结构复杂,不同地区受到局部因素控制,发育模式各异,似层状类砂泥岩模式在整个地层储层发育模式中应该占有一定的比例。

参考文献:

[1] 董大伟,赵利,李婷婷,等.渤海湾盆地冀中拗陷典型斜坡带成因机制及油气成藏特征[J].石油实验地质,2019,41(4):498-507.

DONG Dawei, ZHAO Li, LI Tingting, et al. Evolution mechanism and hydrocarbon reservoir characteristics of typical slope zones in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(4): 498-507.

[2] 马立驰.胜利油田下古生界碳酸盐岩潜山勘探核心技术[J].石油勘探与开发,2005,32(2):72-74.

MA Lichi. Key exploration techniques for the Lower Paleozoic carbonate buried-hills, Shengli Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 72-74.

[3] 李丕龙,张善文,王永诗.多样性潜山成因、成藏与勘探:以济阳拗陷为例[M].北京:石油工业出版社,2003:4-83.

LI Pilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi. Diversity buried-hill formation, accumulation and exploration: as an example in Jiyang Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 4-83.

[4] 李丕龙,张善文,宋国齐,等.断陷盆地隐蔽油气藏形成机制:以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J].石油实验地质,2004,26(1):3-10.

LI Pilong, ZHANG Shanwen, SONG Guoqi, et al. Forming mechanism of subtle oil pools in fault basins: taking the Jiyang Depression of the Bohaiwan Basin as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(1): 3-10.

[5] 李丕龙,张善文,王永诗,等.断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究:以济阳拗陷为例[J].石油学报,2004,25(3):28-31.

LI Pilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, et al. Multiplex buried-hill genesis and pool-forming in rifted basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 28-31.

[6] 单宝杰,徐刚,刘魁元.滑脱型潜山成藏研究:以沾化凹陷渤深6潜山为例[J].地质科技情报,2005,24(1):65-68.

SHAN Baojie, XU Gang, LIU Kuiyuan. Oil accumulation in decollement buried hill: a case of Bonan Deep-well 6 buried hill in Zhanhua Depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(1): 65-68.

[7] 马立驰,王永诗,吕建波.济阳拗陷下古生界潜山内幕油气藏勘探[J].油气地质与采收率,2004,11(1):26-27.

MA Lichi, WANG Yongshi, LV Jianbo. Exploration on internal pool of buried hill in Lower Palaeozoic group of Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 26-27.

[8] 赵贤正,金凤鸣,崔周旗,等.冀中拗陷隐蔽型潜山油藏类型与成藏模拟[J].石油勘探与开发,2012,39(2):137-143.

ZHAO Xianzheng, JIN Fengming, CUI Zhouqi, et al. Types of subtle buried-hill oil reservoirs and their accumulation simulation in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 137-143.

[9] 张伟忠,张云银,王兴谋,等.济阳拗陷盆缘次生气藏输导模式[J].石油实验地质,2019,41(2):185-192.

ZHANG Weizhong, ZHANG Yunyin, WANG Xingmou, et al. Transmission model of secondary gas reservoir on the basin margin of Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2): 185-192.

[10] 左宗鑫,陆建林,王苗,等.松辽盆地长岭断陷断层特征及其控油气作用[J].石油实验地质,2019,41(2):200-206.

ZUO Zongxin, LU Jianlin, WANG Miao, et al. Fault characteristics and controls on hydrocarbon accumulation in Changling Faulted Depression, Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2): 200-206.

[11] 杜金虎,赵贤正,张以明,等.牛东1风险探井重大发现及其意义[J].中国石油勘探,2012,17(1):1-7.

- DU Jinhu, ZHAO Xianzheng, ZHANG Yiming, et al. Great discovery made in risk exploration of Niudong1 well and its significance [J]. *China Petroleum Exploration*, 2012, 17(1): 1-7.
- [12] 黄婕, 于仁江, 孙景民, 等. 长洋淀潜山雾迷山组油气成藏规律再认识[J]. *资源与产业*, 2008, 10(3): 118-121.
- HUANG Jie, YU Renjiang, SUN Jingmin, et al. Study on oil-gas reservoir geology of Wumishan Formation in Changyangdian buried hill [J]. *Resources & Industries*, 2008, 10(3): 118-121.
- [13] 马立驰, 王永诗, 姜在兴, 等. 断陷盆地碳酸盐岩潜山储层模式: 以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(1): 21-24.
- MA Lichi, WANG Yongshi, JIANG Zaixing, et al. Reservoir model of carbonate buried-hill in rifted basin: taking the Jiyang Depression as an example [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2006, 28(1): 21-24.
- [14] 咎念民, 王艳忠, 操应长, 等. 东营凹陷下古生界碳酸盐岩古潜山储层储集空间特征及发育模式[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(2): 355-365.
- ZAN Nianmin, WANG Yanzhong, CAO Yingchang, et al. Characteristics and development patterns of reservoir space of the Lower Paleozoic buried hills in Dongying Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(2): 355-365.
- [15] 陈美玲, 潘仁芳, 潘进. 黄河口地区中深层超压成因机制及分布规律研究[J]. *石油天然气学报*, 2004, 36(7): 8-11.
- CHEN Meiling, PAN Renfang, PAN Jin. On overpressure generation mechanisms and distribution rules at mid-depth formation in Huanghekou region [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2004, 36(7): 8-11.
- [16] 向立宏, 王学军, 郝雪峰, 等. 车西洼陷油气倒灌运移成藏条件研究[J]. *海洋石油*, 2013, 33(2): 42-47.
- XIANG Lihong, WANG Xuejun, HAO Xuefeng, et al. The study of reservoir forming conditions about HC migration downward in Chexi Sag [J]. *Offshore Oil*, 2013, 33(2): 42-47.
- [17] 马立驰. 济阳拗陷碳酸盐岩潜山油气藏勘探技术综述[J]. *石油学报*, 2004, 25(6): 44-47.
- MA Lichi. Overview of exploration techniques for carbonate buried-hill reservoirs in Jiyang Depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(6): 44-47.
- [18] 郑浩, 王月杰. 渤海潜山裂缝性油藏高效开发策略研究[J]. *油气藏评价与开发*, 2017, 7(4): 16-21.
- ZHENG Hao, WANG Yuejie. High efficient development strategy of fractured buried hill reservoir in Bohai Oilfield [J]. *Reservoir Evaluation and Development*, 2017, 7(4): 16-21.
- [19] 王奇, 郝芳, 徐长贵, 等. 渤海海域沙西北地区潜山油源及成藏特征[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(4): 676-684.
- WANG Qi, HAO Fang, XU Changgui, et al. Origin and accumulation characterization of petroleum in buried hill reservoirs in Shaxibe area, Bohai Sea [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(4): 676-684.
- [20] 赵凯, 蒋有录, 胡洪瑾, 等. 济阳拗陷潜山油气分布规律及富集样式[J]. *断块油气田*, 2018, 25(2): 137-140.
- ZHAO Kai, JIANG Youlu, HU Hongjin, et al. Distribution regularities and enrichment styles of buried-hill reservoirs in Jiyang Depression [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2018, 25(2): 137-140.
- [21] 朱毅秀, 王欢, 单俊峰, 等. 辽河拗陷茨榆坨潜山太古界基岩储层岩性和储集空间特征[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(6): 1225-1236.
- ZHU Yixiu, WANG Huan, SHAN Junfeng, et al. Reservoir lithology and space characteristics of the Archeozoic basement rock in Ciyutuo buried hill, Liaohe Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(6): 1225-1236.
- [22] 宋明水, 王惠勇, 张云银. 济阳拗陷潜山“挤—拉—滑”成山机制及油气藏类型划分[J]. *油气地质与采收率*, 2019, 26(4): 1-8.
- SONG Mingshui, WANG Huiyong, ZHANG Yunyin. “Extrusion, tension and strike-slip” mountain-forming mechanism and reservoir type of buried hills in Jiyang Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2019, 26(4): 1-8.
- [23] 薛辉. 廊固凹陷马家沟组潜山白云岩储层特征及成因[J]. *断块油气田*, 2018, 25(5): 573-578.
- XUE Hui. Characteristics and genesis of buried-hill dolomite reservoir in Majiagou Formation, Langgu Depression [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2018, 25(5): 573-578.
- [24] 吴东胜, 陈林. 束鹿凹陷潜山地层分布特征及有利区预测[J]. *特种油气藏*, 2018, 25(1): 1-4.
- WU Dongsheng, CHEN Lin. Hill strata distribution and favorable area prediction in Shulu Sag [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(1): 1-4.
- [25] 焦松杰, 丁祖鹏, 李南, 等. 巨厚潜山裂缝性油藏井网部署方法研究[J]. *特种油气藏*, 2018, 25(1): 112-115.
- JIAO Songjie, DING Zupeng, LI Nan, et al. Well pattern deployment in the ultra-thick buried-hill fractured reservoir [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(1): 112-115.
- [26] 王鹏, 赵凤兰, 侯吉瑞, 等. 氮气泡沫吞吐抑制潜山底水油藏水平井底水锥进实验研究[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(5): 110-115.
- WANG Peng, ZHAO Fenglan, HOU Jirui, et al. An experimental study of horizontal bottom water coning control with nitrogen foam huff and puff in buried-hill reservoirs [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(5): 110-115.
- [27] 黄远鑫, 鱼占文, 张鹭, 等. 束鹿凹陷西斜坡潜山成藏主控因素与成藏模式[J]. *特种油气藏*, 2018, 25(6): 60-64.
- HUANG Yuanxin, YU Zhanwen, ZHANG Ao, et al. Main-controlling factors and hydrocarbon accumulation patterns of the buried-hill reservoirs in the western slope of Shulu Sag [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(6): 60-64.
- [28] 吴笑荷. 潜山复杂断裂描述技术: 以渤海湾盆地济阳拗陷桩海地区为例[J]. *石油实验地质*, 2018, 40(3): 439-447.
- WU Xiaohe. Complex fault interpretation of buried hills: a case study of Zhuanghai region in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(3): 439-447.