

义和庄地区潜山内幕构造演化特征及其控藏作用

束宁凯¹,汪新文^{1*},王金铸²,刘雅利³

(1.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083; 2.中国石化胜利油田分公司石油开发中心有限公司,山东 东营 257000; 3.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:济阳坳陷义和庄地区潜山内幕构造演化复杂、控藏作用不明,制约着该区潜山内幕油气勘探。综合地震、测井、岩性及分析化验等资料开展了义和庄地区潜山内幕构造演化特征分析,并据此评价了构造演化对油气成藏的控制作用。结果表明,研究区潜山经历了印支运动挤压抬升、燕山运动 I 幕挤压、燕山运动 II 幕拉张沉降、燕山运动 III 幕挤压抬升以及喜马拉雅运动拉张沉降这一演化过程;义古 991 断层为潜山内幕典型同沉积断层,其断层活动速率验证了潜山的构造演化过程;多期次不同应力性质的构造演化使潜山内幕断层经历了多个逆冲、负反转阶段;潜山内幕的多期构造演化过程有利于优质储层和高效输导体系的形成,同时多期构造演化过程与内幕隔层相匹配有利于形成良好的储盖组合与多种圈闭类型。在构造演化分析、有利输导体系预测与有利圈闭描述的勘探思路指导下,成功发现了义古 72 和义古 65 块等潜山内幕油藏。

关键词:构造演化 潜山内幕 控藏作用 义和庄地区 济阳坳陷

中图分类号:TE111.2

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)03-0025-05

Tectonic evolution characteristics of inner buried hills in Yihezhuang area and its controlling effect on the hydrocarbon accumulation

Shu Ningkai¹, Wang Xinwen¹, Wang Jinzhu², Liu Yali³

(1.School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing City, 100083, China;

2.Petroleum Development Center Limited Company, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying

City, Shandong Province, 257000, China; 3.Exploration and Development Research Institute,

Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: Tectonic evolution is complicated and its effect on hydrocarbon accumulation is unclear for inner buried hills in Yihezhuang area of Jiyang depression, which is restricting oil and gas exploration in this area. To solve this problem, tectonic evolution characteristics of the inner buried hills was analyzed in Yihezhuang area based on data of seismic, logging, lithology and test, by which the effect of tectonic evolution on hydrocarbon accumulation was evaluated. The result shows that buried hills in Yihezhuang area evolved as following: compressional uplift in Indo-China movement, compression in phase I of the Yanshanian movement, extensional subsidence in phase II of the Yanshanian movement, compressional uplift in phase III of the Yanshanian movement, and again extensional subsidence in Himalayan movement. Fault Yigu991 is a typical contemporaneous fault of inner buried hills in the researching area, and its fault activity rate verifies the tectonic evolution process of the buried hills. The fault of inner buried hills experienced multiple thrust and negative inversion stages under the influence of tectonic evolution that was characterized by many different stress properties. Multi-period tectonic evolution process of inner buried hills is beneficial to the formation of favorable reservoir and effective petroleum migration pathways, and multi-period tectonic evolution, which is well-matched with interior barriers, is beneficial to the formation of favorable reservoir-cap combinations and multiple trap types. The researching result guides oil and gas exploration

收稿日期:2017-01-09。

作者简介:束宁凯(1993—),女,江苏丹阳人,在读硕士研究生,从事构造地质及油气勘探综合研究。联系电话:(010)82322002,E-mail:522345876@qq.com。

*通讯作者:汪新文(1961—),男,湖北孝感人,教授,博士。联系电话:13501390648,E-mail:wxx@cugb.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项“全球剩余油气资源研究及油气资产快速评价技术”(2011ZX05028)及“重点油气勘探新领域储层地质与评价”(2011ZX05009-002)。

of inner buried hills in researching area powerfully. With the guidance of tectonic evolution analysis, effective petroleum migration pathways prediction and favorable traps were described, the inner buried hill reservoir such as Yigu72 and Yigu65 were found successfully.

Key words: structural evolution; inner buried hills; controlling effect on hydrocarbon accumulation; Yihezhuang area; Jiyang depression

济阳坳陷中古生界潜山分布广泛,前人针对潜山顶面由风化剥蚀作用形成的有利圈闭开展了大量研究^[1-2],而对于潜山内幕圈闭,由于其特殊性和复杂性,研究程度相对较低。同时,济阳坳陷以往对潜山的研究多集中在碳酸盐岩、变质岩和火成岩等岩性类型中^[3],对中生界海陆交互以及陆相环境下形成的碎屑岩研究程度较低。如义和庄地区主要在碳酸盐岩潜山中发现了油气储量^[4],油层埋深为1 650~2 500 m,而在碎屑岩潜山中油气发现较少,制约着该区的增储上产。碎屑岩在经历了深埋压实之后往往储层致密,在没有构造裂缝发育的情况下难以沟通酸性流体形成溶蚀孔洞,进而影响着潜山内幕储层的发育程度。因此,笔者利用地震、测井、岩性及分析化验等资料开展了义和庄地区潜山内幕构造演化分析^[5-11],以此为基础探讨构造演化对潜山内幕成储、成藏的控制作用,以期指导中生界潜山内幕碎屑岩油气勘探。

1 区域地质概况

义和庄地区位于渤海湾盆地济阳坳陷西北部沾化凹陷和车镇凹陷之间,其南界为义南断层,东界为义东断层,分别与邵家洼陷、四扣洼陷相邻;北、西为相对宽缓的斜坡,逐渐倾没于车镇凹陷(图1)。因长期遭受风化剥蚀,义和庄凸起主体自南向北依次出露下古生界、上古生界和中生界,自下而上主要发育寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系和中生界^[12]。义和庄凸起周围分别为车西、大王北、郭局子以及四扣洼陷,被生烃洼陷所环绕,油气来源丰富。义和庄地区构造演化复杂多样,具有挤压、拉

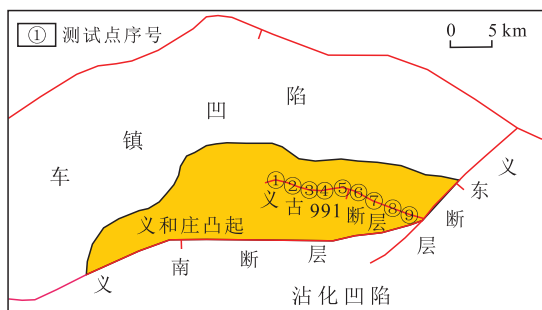


图1 义和庄地区构造位置

Fig.1 Structural position of Yihezhuang area

张等多期次特征,总体上分为加里东—海西、印支和燕山3期,其中印支期逆冲挤压、燕山期反转等对该区层序、沉积具有控制作用,侏罗系部分煤系地层直接覆盖于寒武系或奥陶系碳酸盐岩地层之上。

2 潜山内幕构造演化特征

义和庄潜山构造带主要发育义古991断层和义东断层(图1)。义东断层为新生代形成的晚期断层,呈北东走向,延伸达20 km,而义古991断层则为潜山发育期的同沉积断层,为研究区主要的潜山内幕断层,其对潜山地层的沉积、剥蚀具有重要的控制作用。

2.1 潜山内幕构造演化过程

负向结构是识别印支期逆冲作用的重要地层标志^[13],义古991断层即为印支期形成的潜山内幕逆冲断层,在挤压作用下逆冲断层上盘靠近断面部位的前中生界发生抬升剥蚀,同时断层下盘远离断面的部位发生翘倾剥蚀(图2);之后在早、中侏罗世发生燕山运动I幕,虽区域应力场依然为挤压环境,义古991断层进一步发生逆冲作用,但这一时期地壳整体沉降,义和庄地区接受下、中侏罗统沉积,逆冲断层上盘沉积的地层厚度明显小于下盘的地层厚度,义和庄凸起由于在石炭系、二叠系沉积之后所经历的燕山运动I幕挤压环境强度相对较小,古生界剥蚀有限,从而古生界发育较为完整、厚度较大,往新生代盆地沉降中心部位,因燕山运动I幕的翘倾作用,造成古生界远离断面部位发生剥蚀导致地层减薄;到晚侏罗世、早白垩世发生燕山运动II幕,区域应力场由挤压逐渐演变为拉张,早期形成的潜山内幕逆冲断层发生负反转,并在负反转之后,断层上盘构造位置变低,沉积了较厚的上侏罗统和下白垩统,而断层下盘则沉积了相对较薄的地层;晚白垩世发生燕山运动III幕,义和庄地区整体抬升,燕山运动II幕时沉积的上侏罗统和下白垩统遭受大面积剥蚀,只有少量地层残留,甚至燕山运动I幕时沉积的下、中侏罗统也遭到不同程度的剥蚀,中生界由于燕山运动III幕的抬升剥蚀作用,由凸起向盆地深部中生界厚度增大;随着新生代喜

马拉雅运动的到来,义和庄地区断块翘倾形成古潜山,同时地壳整体沉降接受新生代沉积。由此,义和庄地区在先逆冲剥蚀、后反转沉降的作用下,新生代盆地从缓坡隆起到盆地沉降中心部位,伴随着中生界地层由薄变厚以及古生界地层由厚变薄的现象。

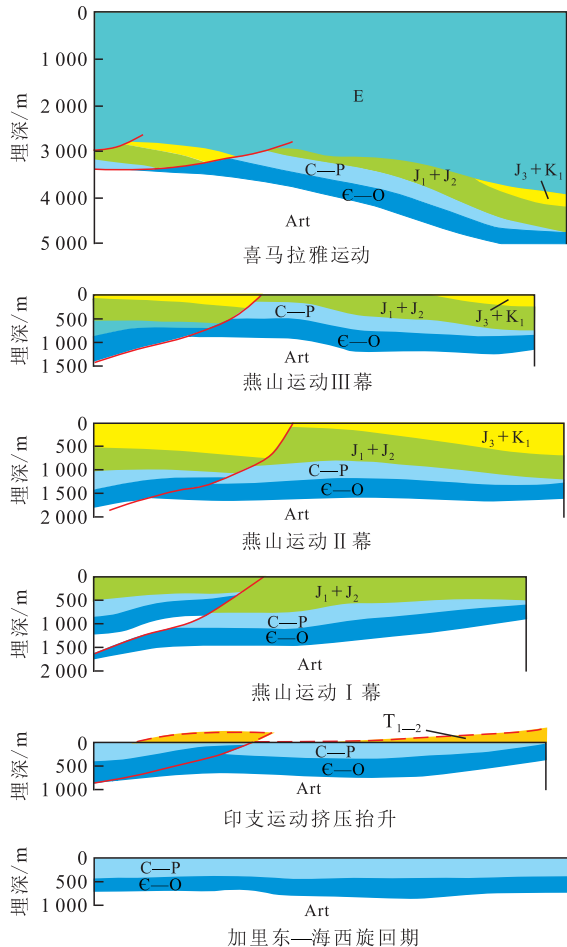


图2 义和庄地区潜山构造演化剖面

Fig.2 Tectonic evolution sections of Yihezhuang buried hills

2.2 潜山内幕断层活动性

沿义古991断层走向选取9个测试点(图1),通过恢复同沉积期断层各盘厚度,结合地层沉积时间计算出断层在不同沉积时期的活动速率。计算结果(表1)显示:在晚三叠世,义古991断层活动速率为负值,表明断层性质为逆断层;到早一中侏罗世,断层活动速率总体上有继续往负值方向增大的趋势,表明逆冲作用进一步增强;而到晚侏罗世—早白垩世,断层活动速率转变为正值,说明断层性质在这一时期发生反转,表现为正断层。计算结果与潜山内幕的构造演化过程一致,证实在义古991断层的控制下,石炭系、二叠系沉积之后,印支运动挤压造成地层抬升遭受剥蚀,晚侏罗世—早白垩世发生燕山运动II幕,区域应力场由挤压逐渐演变为拉

表1 义古991断层在不同沉积时期的活动速率

Table1 Fault activity rate of Fault Yigu991 m/Ma

测试点序号	晚三叠世	早一中侏罗世	晚侏罗世—早白垩世
①	-6.0	-8.0	0.8
②	-4.8	-7.0	1.0
③	-2.2	-6.8	1.2
④	-4.3	-4.0	1.2
⑤	-4.0	-4.8	0.4
⑥	-2.8	-3.2	1.5
⑦	-4.0	-21.0	0.5
⑧	-4.0	-7.0	1.0
⑨	-4.0	-7.0	1.0

张,早期形成的潜山内幕逆冲断层发生负反转。

2.3 构造演化控制下的古地貌特征

针对义和庄地区潜山内幕地层,恢复沉积期地貌演变过程,有助于分析潜山形态演化及其在这一形态控制下潜山与上覆地层的接触关系。研究区在古生代地形平坦,沉积地层趋于等厚(图3a),但到古生代晚期发生印支运动,华北板块与华南板块碰撞,地层遭受挤压抬升,上部地层整体剥蚀;到中生代早期发生燕山运动I幕,继承了印支运动期的挤压应力场,早期形成的一系列逆断层进一步发生逆冲作用,地层遭受挤压抬升,地势起伏(图3b);到晚侏罗纪和早白垩纪,为燕山运动II幕,此时构造应力场由挤压转变为拉张,早期逆断层发生反转,断层上盘持续下降,与早中侏罗世的地貌相比,原先凸起区转变为凹陷区,而凹陷区则转变为凸起区,遭受剥蚀(图3c);到古近纪,喜马拉雅运动致使断陷盆地展现锥形,义和庄潜山带北临的车镇凹陷其北部控盆的埡南断层快速活动,断层下降盘持续沉降,使义和庄潜山向北逐渐倾没于车镇凹陷,形成南高北低的斜坡,北部低洼处接受古近系沉积,而南部隆起处则受到不同程度的剥蚀(图3d)。

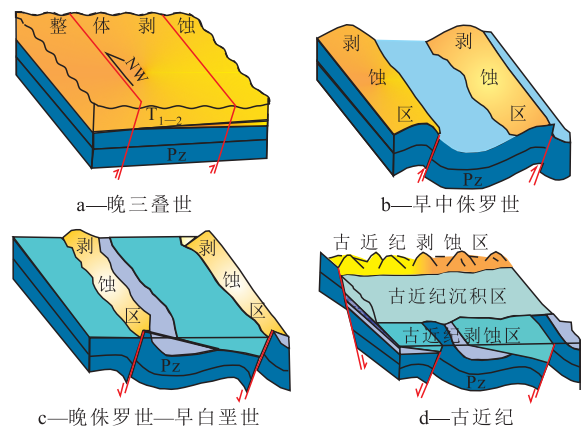


图3 义和庄潜山古地貌演化特征

Fig.3 Palaeogeomorphology evolution characteristic of Yihezhuang buried hills

3 构造演化的控藏作用

义和庄潜山经历了多期构造运动,尤其是潜山内幕断层在多期挤压、拉张作用下活动频繁,使多套地层经历沉积、剥蚀过程,产生多个不整合面;此外,断层的强烈活动还可产生大量构造裂缝、增加储集空间,同时一系列发育的断裂又可输导油气,利于潜山内幕有利圈闭成藏。因此,潜山内幕的多期演化具有重要的控藏作用。

3.1 利于优质储层形成

在印支期,义和庄地区三叠系、二叠系乃至石炭系遭受剥蚀,到燕山运动 I 幕时局部地层抬升遭受剥蚀,而到燕山运动 III 幕时上侏罗统和下白垩统遭受大面积剥蚀,从而总体上形成了多期大范围的顶面不整合,不整合面长期暴露地表经历了强烈风化淋滤作用,使各期次不整合面之下容易产生次生溶蚀孔洞发育的有利储层,地层沉降之后重新接受沉积,从而使不整合面之下的有利储层成为潜山内幕储层;在多期次构造运动下,随着大型断裂的产生往往伴生一系列裂缝,裂缝发育不但可增加有效储集空间,改善储层物性,同时还可有效沟通烃源岩生排烃过程中产生的有机酸,在酸性流体的溶蚀下裂缝周边又会产生大量溶蚀孔洞^[4],从而使得储层物性进一步改善,如义古 99 井奥陶系马家沟组碳酸盐岩储层中发育一系列的高角度微裂缝,在裂缝周边伴生着直径为 2~3 cm 的溶洞,溶洞沿裂缝发育,具有油浸显示。

3.2 利于高效输导体系形成

义和庄地区邻近车西、大王北、郭局子和四扣等生油洼陷,油气来源丰富,伴随着印支、燕山运动在义和庄地区形成多期次不整合面和多条断裂,不整合面与断裂延伸至生油洼陷一侧,可与生油洼陷中有效烃源岩发育层系直接对接或处于其上部,潜山内幕多期发育的不整合面与不均匀分布的断层和裂缝可对油气运移起沟通作用,形成相互连通而又相对独立的、具有多个含油气层段的油气藏输导体系。

3.3 利于良好的储盖组合及多种类型油藏形成

义和庄潜山活动的多期次性与内幕隔层相匹配,形成有利储盖组合与多种圈闭类型。一般而言,潜山内幕油气藏的形成除受控于有利储层的发育和有效输导体系外,还受潜山内幕隔层的影响^[5],这是因为内幕隔层的发育不仅可成为优质储层之上的盖层,形成良好的储盖组合,同时可使其紧邻

的断面内充填低渗透性岩石,自下而上运移的油气遇低渗透性岩石受阻,从而油气被迫进入潜山内幕得以成藏;油气进入潜山内幕,若潜山为碎屑岩地层,则会形成多种类型油藏,在不整合、断层、砂体以及泥岩盖层的相互组合下,主要发育潜山顶部构造、不整合遮挡、断层封堵、沿断层面分布的构造裂缝-溶蚀孔洞、断层切割砂体而成的构造-岩性、砂岩上倾尖灭等多种油藏类型。

4 勘探实践

综合以上分析,明确了义和庄碎屑岩潜山内幕油气勘探的思路。首先,确定潜山内部主要大型断裂的发育位置、延伸方向、应力性质及其形成演化过程,并确定可能存在的不整合期次和位置;其次,根据断层、不整合面与周边生油洼陷烃源岩的接触关系分析油气的有利输导方向;再者,在油气有利输导路径上描述各类有利圈闭,重点评价潜山内幕不整合遮挡圈闭、沿断裂面分布的裂缝-溶蚀孔洞发育带、断层切割砂体形成的构造-岩性圈闭以及砂岩上倾尖灭圈闭。

以此为指导,成功发现了义古 72、义古 65 块等潜山内幕油藏,而且发现了新的含油层系、新的油藏类型。其中,义古 72 块 4 口滚动井平均钻遇石炭系一二叠系油层 29 m;义古 65 块 2 口滚动井平均钻遇太一段油层 8 m,均获商业油流,取得较好的勘探成效。

5 结论

义古 991 断层为义和庄地区主要的潜山内幕断层,其断层活动速率在不同沉积时期经历了由负到正的变化过程,验证了义和庄地区潜山经历了印支期挤压抬升、燕山运动 I 幕期挤压、燕山运动 II 幕期拉张沉降、燕山运动 III 幕期挤压抬升以及喜马拉雅运动拉张沉降这一演化过程;多期次不同应力性质的构造演化使潜山内幕断层经历了多个逆冲、负反转阶段。

义和庄地区潜山内幕的多期构造演化过程具有重要的控藏作用。构造演化产生的断层及其伴生的裂缝不但可改善储层物性,而且可有效沟通有机酸形成溶蚀孔洞;构造运动形成的多级次不整合及断裂体系可组成油气运移的高效输导体系;多期构造演化过程与内幕隔层相匹配利于形成良好的储盖组合与多种圈闭类型。

在构造演化分析、有利输导体系预测与有利圈闭描述的勘探思路指导下,成功发现了义古72、义古65块等潜山内幕油藏,并获得了商业油流,拓展了东部中新生界盆地的勘探潜力。

参考文献:

- [1] 赵乐强,张金亮,宋国奇,等.义和庄凸起东区前第三系顶部风化壳结构发育模式及对油气运聚的影响[J].沉积学报,2008,26(3):435-444.
Zhao Leqiang, Zhang Jinliang, Song Guoqi, et al. Structure model of weathered crust on the top of Pre-Tertiary and its influence on petroleum migration and accumulation in east part of Yihezhuang uplift[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3): 435-444.
- [2] 张青林,任建业,陆金波,等.济阳拗陷中生界古潜山油气富集规律及有利勘探区预测[J].特种油气藏,2008,15(2):14-18.
Zhang Qinglin, Ren Jianye, Lu Jinbo, et al. Hydrocarbon enrichment and favorable exploration areas in Mesozoic buried hill reservoirs of Jiyang Depression [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2008, 15(2): 14-18.
- [3] 王广利,朱日房,陈致林,等.义和庄凸起及其北部斜坡带油气运聚研究[J].油气地质与采收率,2001,8(4):12-14.
Wang Guangli, Zhu Rifang, Chen Zhilin, et al. Oil-gas migration and accumulation of Yihezhuang arch and its northern slope belt [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(4): 12-14.
- [4] 林会喜,方旭庆,李凌,等.鲁北济阳拗陷沾化凹陷东部潜山的发育及油气成藏控制因素[J].地质通报,2006,25(9/10):1160-1167.
Lin Huixi, Fang Xuqing, Li Ling, et al. Development of buried hills of the eastern Zhanhua subbasin, Jiyang depression, northern Shandong, China and controlling factors of the formation of petroleum accumulations [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9/10): 1160-1167.
- [5] 王琳,张善文,刘雅利,等.车镇凹陷北带沙三段下亚段有利储层形成机制与分布规律[J].油气地质与采收率,2016,23(6):34-40.
Wang Lin, Zhang Shanwen, Liu Yali, et al. Formation mechanism and distribution laws of favorable reservoir in lower E₃ in the north zone of Chezhen sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(6): 34-40.
- [6] 高先志,吴伟涛,卢学军,等.冀中拗陷潜山内幕油气藏的多样性与成藏控制因素[J].中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(3):31-35.
Gao Xianzhi, Wu Weitao, Lu Xuejun, et al. Multiplicity of hydrocarbon reservoir and accumulation controlling factors within buried hills in Jizhong depression [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2011, 35(3): 31-35.
- [7] 郑荣才,胡诚,董霞.辽西凹陷古潜山内幕结构与成藏条件分析[J].岩性油气藏,2009,21(4):10-18.
Zheng Rongcai, Hu Cheng, Dong Xia. Analysis of internal structure and reservoir-forming conditions of palaeo-buried hill, Western Liaohe Sag [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(4): 10-18.
- [8] 于海波,王德英,牛成民,等.渤海海域渤南低凸起碳酸盐岩潜山储层特征及形成机制[J].石油实验地质,2015,37(2):150-156.
Yu Haibo, Wang Deying, Niu Chengmin, et al. Characteristics and formation mechanisms of buried hill carbonate reservoirs in Bonan Low Uplift, Bohai Bay [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(2): 150-156.
- [9] 张文彪,陈志海,许华明,等.断层封闭性定量评价——以安哥拉Sangos油田为例[J].油气地质与采收率,2015,22(6):21-26.
Zhang Wenbiao, Chen Zhihai, Xu Huaming, et al. Quantitative evaluation of fault seal: a case study of Sangos oilfield in Angola [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(6): 21-26.
- [10] 于海波.兴隆台潜山油气藏的油水关系[J].大庆石油地质与开发,2015,34(2):54-56.
Yu Haibo. Oil-water relationships for Xinglongtai buried-hill petroleum reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(2): 54-56.
- [11] 江尚昆,吴昊明,曾金昌,等.辽西低凸起中段潜山油气差异富集及主控因素[J].特种油气藏,2016,23(6):55-59.
Jiang Shangkun, Wu Haoming, Zeng Jinchang, et al. Hydrocarbon difference enrichment and main-controlling factors of buried-hill reservoir in the central of Liaoxi Low-Salient [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(6): 55-59.
- [12] 杨明慧.渤海湾盆地潜山多样性及其成藏要素比较分析[J].石油与天然气地质,2008,29(5):623-632.
Yang Minghui. Diversity of buried-hills and comparison of their hydrocarbon-pooling factors in the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 623-632.
- [13] 夏斌,黄先雄,蔡周荣,等.济阳拗陷印支—燕山期构造运动特征与油气藏的关系[J].天然气地球科学,2007,18(6):832-837.
Xia Bin, Huang Xianxiong, Cai Zhourong, et al. Relationship between tectonics and hydrocarbon reservoirs from Indo-Chinese epoch to stage of Yanshan in Jiyang depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(6): 832-837.
- [14] 王永诗,王勇,郝雪峰,等.深层复杂储集体优质储层形成机理与油气成藏——以济阳拗陷东营凹陷古近系为例[J].石油与天然气地质,2016,37(4):490-498.
Wang Yongshi, Wang Yong, Hao Xuefeng, et al. Genetic mechanism and hydrocarbon accumulation of quality reservoir in deep and complicated reservoir rocks: A case from the Palaeogene in Dongying Sag, Jiyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(4): 490-498.
- [15] 高长海,张新征,查明,等.冀中拗陷潜山内幕隔层特征及控藏模式[J].现代地质,2014,28(3):566-572.
Gao Changhai, Zhang Xinzheng, Zha Ming, et al. Interlayer characteristics and its controlling hydrocarbon accumulation model of inner buried hill in Jizhong depression [J]. Geoscience, 2014, 28(3): 566-572.