

文章编号:0253-9985(2005)03-0323-06

渤海湾盆地东营凹陷八面河地区潜山油气藏

于红枫^{1,2}, 王英民^{1,2}, 李 雪³

(1. 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3. 中国石化胜利油田分公司清河采油厂, 山东东营 262714)

摘要:渤海湾盆地东营凹陷南部斜坡带八面河地区寒武—奥陶系碳酸盐岩长期出露地表遭受淋滤剥蚀, 使碳酸盐岩中溶蚀孔洞发育, 加之构造活动产生的裂缝与溶蚀孔洞互相连通, 形成了良好的风化壳储层。牛庄和博兴生油洼陷的沙河街组上亚段及沙河街组三段棕褐色油页岩和暗色泥岩具有较强的生烃能力, 是主要的烃源岩; 孔店组二段灰、深灰色泥岩具有良好的生烃能力, 也是较为可靠的烃源岩。它们生成的油气经过由南部斜坡带的断层、新近系与古近系和古近系与中生界之间的不整合面以及古近系孔店组和沙河街组的砂体输导层组成的运移通道沿斜坡向上运移, 到达八面河地区寒武—奥陶系潜山碳酸盐岩风化壳储层后, 受到馆陶组、沙河街组四段及孔店组的泥岩封盖而聚集成藏。

关键词:潜山; 油气运移; 油气成藏; 八面河地区; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号:TE112 **文献标识码:**A

Buried hill reservoirs in Bamianhe area of Dongying depression, Bohai Bay basin

Yu Hongfeng^{1,2}, Wang Yingmin^{1,2}, Li Xue³

(1. Key Laboratory for Petroleum Accumulation, Ministry of Education, Beijing;

2. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing;

3. Qinghe Oil Recovery Plant, Shengli Oilfield Co. Ltd, SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Cambrian and Ordovician carbonates in Bamianhe area on the southern slope of Dongying depression in Bohai Bay basin have experienced leaching and denudation during the long period of outcropping, resulting in well developed dissolution vugs. Moreover, fractures resulting from tectonic activities communicate with the dissolution vugs lead to the formation of good weathered-crust reservoirs. The brown oil shales and dark-colored mudstones in the 4th and 3rd members of Shahejie Fm in Niuzhuang and Boxing sags have large hydrocarbon-generating potentials, thus they are the major source rocks. The grey and dark-grey mudstones in the 2nd member of Kongdian Fm have relatively good hydrocarbon-generating capacity, thus they are also relatively good source rocks. The hydrocarbons generated from these source rocks might have migrated through the pathways, composed of faults in the southern slope zone, the unconformities between Neogene and Paleogene and between Paleogene and Mesozoic, as well as the sandbodies or carrier beds in Paleogene Kongdian and Shahejie Formations, and upward along the slope. When they migrated into the Cambrian-Ordovician carbonate weathered-crust reservoirs in Bamianhe area, they might have accumulated and become pools, due to the sealing of mudstones in Guantao Fm, the 4th member of Shahejie Fm and Kongdian Fm.

Key words: buried hill; hydrocarbon migration; reservoiring of hydrocarbon; Bamianhe area; Dongying depression; Bohai Bay basin

潜山油气藏是中国东部裂谷盆地中重要的油气藏类型,也是目前我国油气勘探的重要目标之一^[1,2]。渤海湾盆地东营凹陷南部斜坡带王家岗地区王古1井奥陶系潜山深井的钻探成功,揭示

基金项目:国家“973”重点基础研究发展规划项目(G19990433);国家自然科学基金项目(4027053)

第一作者简介:于红枫,男,28岁,博士研究生,层序地层学和油藏描述

收稿日期:2005-05-08

了东营凹陷深层具有巨大的油气勘探潜力^[3]。八面河地区处于东营凹陷南部斜坡带东段,与王家岗地区潜山油气的运移和聚集条件具有相似之处,存在与王古1井成因可能相似的油气(如面14-1-X71井奥陶系原油),具备一定的深层油气勘探前景。

1 区域概况

八面河地区位于渤海湾盆地东营凹陷南部斜坡带东段(图1)。钻井资料揭示,本区地层自上而下依次为新生界第四系平原组(Q_p)、新近系明化镇组(N_m)和馆陶组(N_g)、古近系沙河街组(E_s)和孔店组(E_k)、中生界白垩—侏罗系、上古生界二叠—石炭系、下古生界奥陶—寒武系及前震旦系,其中古近系东营组(E_d)缺失。

东营凹陷在孔店组、沙河街组沉积时为北断南超,到东营组沉积时转化为北超南剥。这两个发育阶段都没有改变南部斜坡带的构造背景。长期继承性发育的斜坡带一直是油气运移的指向。

位于斜坡高部位的寒武—奥陶系潜山具有捕获油气的机会,具备形成油气藏的条件。草桥奥陶系潜山油藏的发现便说明了这一点。

八面河地区古近系中广泛发育断鼻构造,油气分布与断层密切相关。除郭井子垒状构造带以及广饶凸起西北坡的奥陶系为古近系直接覆盖外,其他地区的奥陶系与古近系之间有厚度较大的石炭—二叠系、侏罗—白垩系,这是本区寒武—奥陶系潜山成藏的不利因素。

在八面河探区日前有17口井纂遇到下古生界,其中有4口井见油气显示,1口井获得工业油流(面14-1-X71井,试油日产66 t)。这充分说明该区油气成藏是现实的。而八面河地区潜山能否成藏的关键就在于油气来源、储集能力以及油气的运移输导能力如何。

2 成藏条件

2.1 油源

东营凹陷南部斜坡带北接牛庄生油凹陷,具

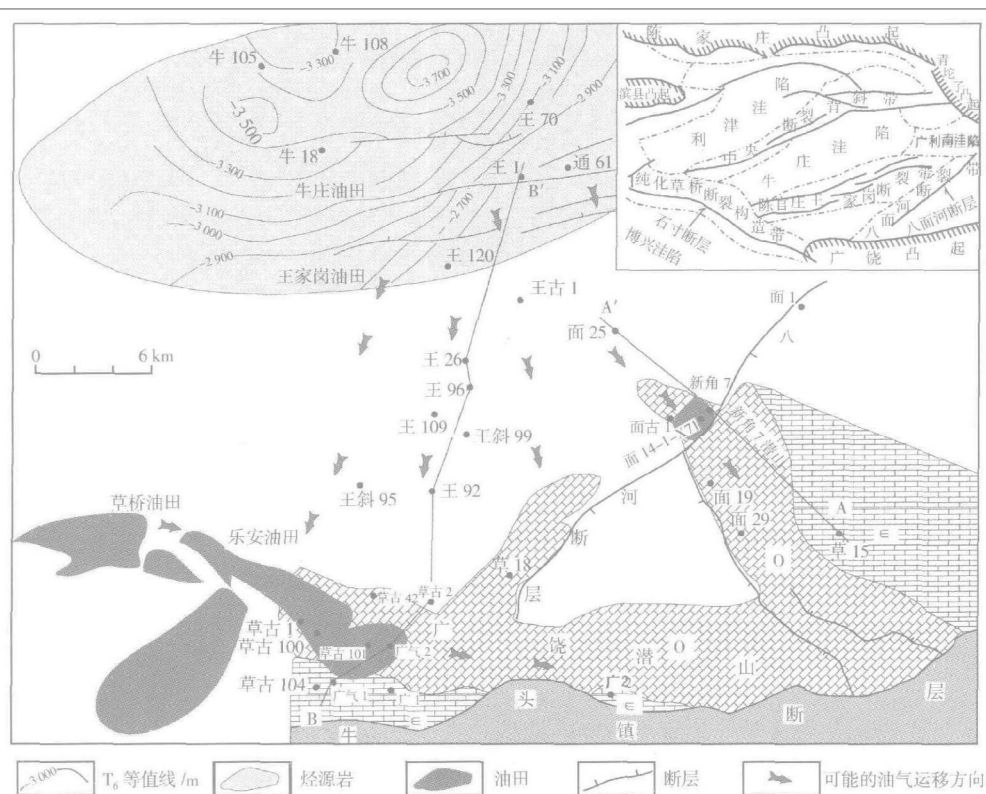


图1 八面河地区构造位置及潜山油气运聚模式

Fig.1 Structural locations and hydrocarbon migration and accumulation model of buried hill reservoirs in Bamianhe area

有优越的油源条件。在牛庄洼陷及其斜坡带,沙河街组四段上亚段(以下简称沙四上)和沙河街组三段(以下简称沙三段)烃源岩是主要烃源岩^[4,5],岩性以棕褐色油页岩和暗色泥岩为主,沉积厚度在1000 m以上,干酪根类型以I-II₁型为主,有机质丰度和成熟度较高,具有较强的生油能力。博兴洼陷沙四上和沙三段烃源岩生成的石油也可以沿石村断层向草桥-广饶潜山运移。此外,孔店组二段(以下简称孔二段)也是较为可靠的烃源岩,岩性以灰、深灰色泥岩为主,地震资料推测东营凹陷中北部和博兴洼陷中心部位孔二段暗色泥岩厚度在200~500 m,具有良好的生烃能力。由此可见,八面河地区潜山的油源是非常丰富的,可形成“新生古储”型油气藏。

2.1.1 原油成因类型

原油物性、烃类组成及其分布特征表明,八面河及邻区潜山原油可分为两种成因类型。南部的广饶奥陶系潜山为沙河街组四段(以下简称沙四段)烃源岩的原油,原油与沙四段中浅层烃源岩性质具有极好的相似性,总体特征与八面河油田和王家岗油田沙河街组低熟-中等成熟度原油相近。北部的王古1井奥陶系潜山为孔二段烃源岩的原油,原油与孔二段烃源岩性质有较好的相似性,具有高蜡、高凝固点、低硫以及化学成分中高分子量

环状化合物(如甾、萜类化合物等)含量低等特征,反映出原油成熟度较高的特点。两种成因类型原油间的烃类组成差异主要表现在:第一类原油甾烷/藿烷、C₂₇-甾烷/C₂₉-甾烷比值偏高,Pr/Ph、成熟度、三环萜烷和低分子量孕甾烷含量偏低,具有咸水相原油普遍具有的特征,反映偏还原性原始沉积环境;第二类原油沉积环境氧化性高于第一类原油。八面河地区新角7井奥陶系潜山则可能是这两种原油的混和油^[6]。

不同成因类型原油的差异主要反映油源岩的差异,说明八面河地区除已发现的沙河街组上部层系油源之外,还存在更深层次的油源(如孔二段油源)。

2.1.2 油气运移效应

随着原油在运移过程中运移距离的增加,原油物性参数会沿油气运移方向发生有规律的变化。通常在生油洼陷中心附近封闭条件好的地区,原油在运移过程中以层析作用为主,重质组分要受到周围岩石的吸附,原油的密度和粘度随运移距离的增加而变小;在构造带,尤其是断裂发育的构造部位,封闭条件差,原油在运移时会受到氧化作用或遭遇程度不等的次生改造作用,如生物降解,导致原油密度和含硫量的增加^[7]。从南部斜坡带王家岗地区到八面河地区的原油物性变化图(图2)上可以看出,从斜坡低部位向高部位,孔

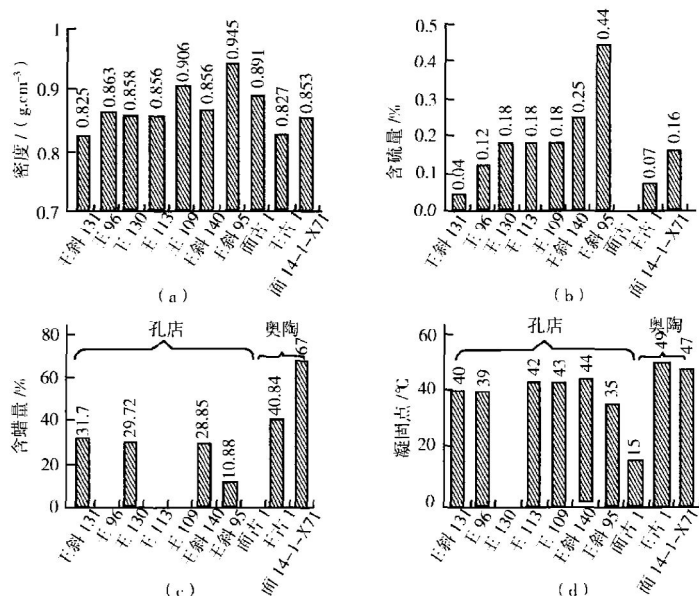


图2 王家岗-八面河地区原油物性变化规律
(井号顺斜坡向上)

Fig.2 Changing patterns of crude physical properties in Wangjiagang-Bamianhe area (wells are arranged upward along the slope)

店组和奥陶系原油的密度、含硫量都有增加的趋势,说明油气向南部斜坡发生了运移,并且运移通道的封闭性和保存条件相对较差,原油运移时发生氧化效应。

此外,原油物性参数的变化也可能与原油的成因差异有关,甚至与不同类型油气的混合作用有关。这也是八面河地区奥陶系潜山原油可能是孔二段与沙四段两种烃源岩的原油混合油的佐证。从图2可以看出,王家岗地区孔店组原油凝固点变化不大,都相对较高(一般为39~44℃),而处于构造高部位的王斜95井特别是八面河地区新角7井潜山部位的面古1井孔店组原油凝固点偏低(仅为15℃),而且孔店组原油的含蜡量与凝固点都有别于奥陶系原油,反映八面河地区与王家岗地区原油物性有差异,这种差异主要与不同成因的油气混合作用有关^[6]。

值得注意的是,虽然沿斜坡上翘方向原油物性的变化可能与油藏的破坏改造、油气运移过程中深层较为成熟原油与浅层沙四段型原油的混合油、抑或烃源岩成熟度的细微差异有关,但其大致可体现油气运移的趋势,即孔店组和奥陶系原油具有顺斜坡上翘方向运移的趋势。

2.2 储层

八面河地区潜山储层主要以下古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩为主。寒武系以陆表海沉积为主,泥质成分高,储集性能逊于奥陶系,往往阻止了油气继续向南运移,造成广饶潜山南部的寒武系不含油,广气1井(图1)未见油气显示就充分说明了这一点。

八面河地区潜山最有利的储集相带是奥陶系潜山风化壳。由于长期出露地表,碳酸盐岩遭受了强烈的淋滤剥蚀,产生了大量的溶蚀孔洞,加之强烈的断裂活动产生的裂缝与溶蚀孔洞互相连通,从而改善了潜山圈闭的储集性能。钻井过程中普遍发生井漏便是佐证^[8]。角7井即是因为发生严重井漏、地面下陷2.5 m无法施工而报废的。随后钻探的新角7井在奥陶系中钻进时也发生过井漏,说明溶蚀孔洞是相当发育的。经钻井取心证实,新角7井潜山顶部的风化壳裂缝溶洞确实比较发育,洞壁不规则,被晶簇状方解石半充填,部分溶洞见含油显示,中途测试水达683.2 m³,反映了孔隙性、连通性都相当好。

除溶蚀孔洞之外,裂缝也是八面河地区潜山的主要储集空间类型,尤其在广饶潜山更为明显。从裂缝的类型来看,有构造缝、层间缝、压溶缝等^[9],其中构造缝占绝对优势。裂缝发育主要受形成时的构造应力控制。从裂缝的走向来看,有NW和NE向两组,前者与燕山期的块断掀斜构造运动有关,在构造作用下形成NW走向的石村断层,在其上升盘形成了一组NW向裂缝;后者则是在白垩纪末期至新生代期间在潜山西部形成近NE走向的广气2井与广1井断层和裂缝。统计结果表明,广饶潜山西部裂缝较东部发育,且裂缝中以高角度缝最为发育。从草古1—草古100井区裂缝统计反映,宽度大于0.3 mm的裂缝中高角度缝占57.5%,开启度达65%,占开启缝总条数的66%。溶蚀孔洞主要沿高角度缝分布,它们之间相互连通,构成碳酸盐岩潜山储层的储集空间。

广饶潜山草古101井奥陶系顶部灰岩风化壳自上而下可以分为地表岩溶带、垂直渗流岩溶带、水平潜流岩溶带以及深部缓流岩溶带(图3)^[10]。

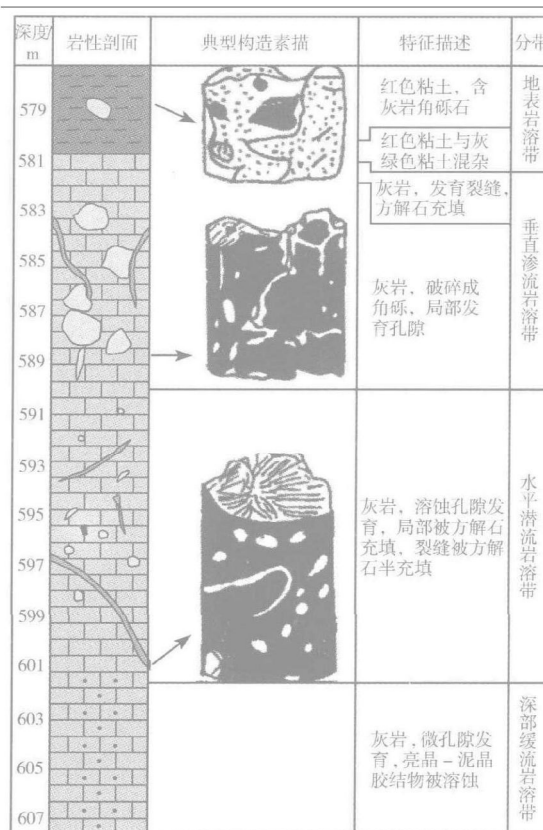


图3 草古101井风化壳结构

Fig.3 Weathered-crust structures in Caogu 101 well

其中垂直渗流岩溶带和水平潜流岩溶带储集性能好,溶蚀孔洞比较发育,裂缝开启程度高,溶蚀孔洞常沿裂缝呈串珠状分布,连通性较好,含油气性较好;深部缓流岩溶带底界是岩溶作用的下限,主要发育零散的溶孔、溶缝,规模和程度远较上述两个带小,含油气性相对较差;地表岩溶带则以红色粘土为主,局部含有灰岩角砾石,可作为局部盖层起遮挡作用。储层风化壳在横向上的发育与古地貌密切相关,其中以构造斜坡和残丘与洼地或沟槽过渡带岩溶水流动交替性强,储层最为发育,含油气性也最好。

3 成藏模式

由于同处于东营凹陷南部缓坡带上,八面河地区潜山与邻区潜山总体具有类似的古地质背景,在油气运移和聚集方面具有一定的相似性。

3.1 新角7井潜山

地质分析表明,新角7井潜山与王古1井潜山极可能是相通的,油气的运移和聚集条件具有相似之处。含氮化合物、烃类分析表明,新角7井潜山的面14-1-X71井与王家岗地区的王古1井原油都具有特高蜡含量的特征,表明原油烃类化学组成中占绝对优势的成分具有共同的油源。两者油气主体成因相似,反映王古1井潜山高蜡原油已运移至八面河地区。王古1井奥陶系原油成熟度相对较高,反映沟通深层孔店组烃源岩的断裂的发育至关重要。推测油气向王古1井潜山运移聚集的过程是:源自牛庄洼陷孔二段烃源岩的原油经由深部断层、孔店组一段(以下简称孔一段)下部超覆不整合面以及孔一段砂体进行运移并聚集至王古1井奥陶系潜山形成新生古储型油藏。

新角7井奥陶系潜山油气运聚模式与王古1井潜山有相同之处,不同的是,新角7井奥陶系潜山除含有孔二段烃源岩生成的原油之外,也含有沙四段烃源岩生成的原油,因此,除了断层、孔一段下部超覆不整合面以及孔一段砂体组成的运移通道外,沙河街组砂体及其与孔店组之间的不整合可能也参与了油气运移(图4)。

推测新角7井潜山油气运移聚集的过程是:源于牛庄生油洼陷沙四段和孔二段烃源岩的原油排出之后首先进入相邻的砂体输导层,与断层直接接触的则直接沿断面向上运移,在南部斜坡带

这一斜坡背景下,油气沿砂体输导层和不整合面向斜坡上翘方向运移,遇到断层即沿断面向上运移(遇到断层两侧砂体对置,则穿过断面继续向前运移),通过砂体、断层与不整合面构成的三维输导网络,油气进入潜山风化壳后受到孔店组泥岩封盖而聚集形成新生古储型油藏。

3.2 广饶潜山

广饶奥陶系潜山原油总体特征及成因与八面河油田和王家岗油田的沙河街组低熟一中等成熟度原油相近,反映出类似王古1井、面14-1-X71井的奥陶系原油可能未曾运移至广饶潜山地区。油源对比表明,广饶潜山奥陶系原油主要为沙四段烃源岩所生。牛庄洼陷为主要油源区之一(图1,5)。推测油气向广饶潜山运移聚集的过程是:由洼陷中沙四段生油岩排出的油气经过断层以及古近系孔店组、沙河街组、馆陶组底面等多个不整合面以及砂体输导层运移并聚集于奥陶一寒武系风化壳或潜山内幕储层中,受到馆陶组、沙四段及孔店组泥岩封盖而聚集形成藏。

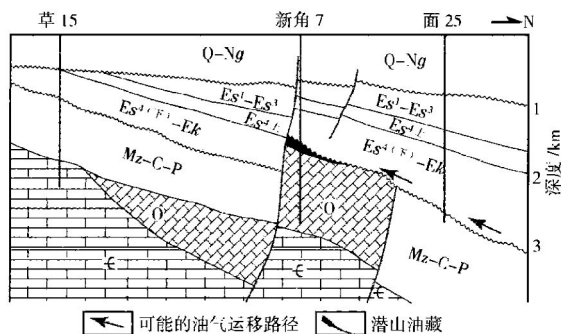


图4 新角7井潜山油气运聚模式(井位见图1A-A')

Fig. 4 Hydrocarbon migration and accumulation model of Xinjiao 7 buried-hill reservoir (see Fig. 1 A-A' for well locations)

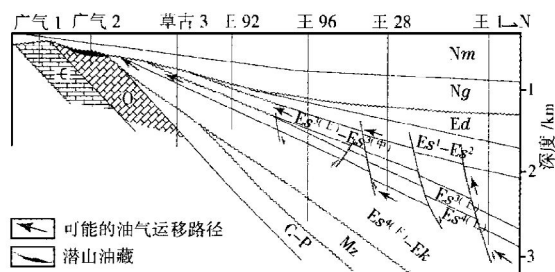


图5 广饶潜山油气运聚模式(井位见图1B-B')

Fig. 5 Hydrocarbon migration and accumulation model of Guangrao buried-hill reservoir (see Fig. 1 B-B' for well locations)

除此之外,博兴洼陷沙四段的原油也可以通过石村断裂向广饶潜山聚集(图1)。在此过程中,石村断裂起到了十分重要的作用。石村断层是广饶潜山西部长期继承性活动的基底大断层,向东延伸到广饶凸起西部。该断层活动时期长、断距大、切割层位多,是生油洼陷的油气向潜山圈闭运移的重要通道。草桥潜山系列油藏的形成就充分说明了这一点。沿石村断层运移上来的油气在向草桥潜山运移和聚集的同时,只要遇到合适的通道,依然会向斜坡高部位运移,这样就使广饶奥陶系潜山圈闭可能捕获到由北西向南东方向运移来的油气。这是广饶潜山油气的另一重要来源。

值得注意的是,由于油气在潜山的高部位作侧向长距离运移,油藏埋深变浅,成岩作用变弱,盖层条件变差,随着距生油洼陷中心距离的增大,原油密度逐渐增大,油质变稠,形成氧化型油气聚集。广饶潜山西部的油气分布结果即是如此。推测八面河地区潜山的油气聚集可能也是这种氧化型油气聚集模式^[8]。

4 结论

1)八面河及邻区潜山原油可分为两种成因类型。南部的广饶潜山为沙四段原油,北部的王古1井潜山为孔二段原油,八面河新角7井潜山则可能是这两种原油的混和油。这反映出八面河地区还存在更深层次的油源,具备一定的深层油气勘探前景。

2)潜山的储集空间类型主要为奥陶系碳酸盐岩中的溶蚀孔洞和构造裂缝。储层的发育受岩溶作用和古地貌控制,以构造斜坡和残丘与洼地或沟槽过渡带岩溶水流动交替性强,储层最为发育,是潜山的有利油气聚集区。

3)根据油气运移效应分析,潜山中的油气主要来源于牛庄洼陷和博兴洼陷。源自生油洼陷的油气,经过由断层、不整合面和砂体输导层组成的运移通道沿斜坡向上运移至八面河潜山圈闭中聚集成藏。油气在向潜山运移聚集过程中受到氧化作用影响,形成了氧化型潜山油气藏。

参 考 文 献

- 李丕龙.胜利油田油气勘探新进展[J].石油与天然气地质, 2004, 25(4): 472~478
- Li Pulong. Recent oil and gas exploration advance of Shengli oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 472~478
- 郑和荣,胡宗全,张忠民,等.中国石化东部探区潜山油气藏勘探前景[J].石油与天然气地质, 2003, 24(4): 313~317
Zheng Herong, Hu Zongquan, Zhang Zhongmin, et al. Prospect of buried hill reservoirs in SINOPEC eastern exploration region [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 313~317
- 妥进才,王先彬,周世新.渤海湾盆地深盆油气资源前景分析[J].天然气地球科学, 1999, 10(6): 27~32
Tuo Jincai, Wang Xianbin, Zhou Shixin. Prospect analysis of deep basin gas reservoirs in Bohai Bay basin [J]. Natural Gas Geoscience, 1999, 10(6): 27~32
- 李素梅,李雪,张庆红,等.牛庄洼陷第三系古沉积环境及其控油气作用[J].石油与天然气地质, 2003, 24(3): 269~272
Li Sumei, Li Xue, Zhang Qinghong, et al. Paleosedimentary environment in Tertiary and its effect on petroleum distribution in Niuzhuang subsag, Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 269~272
- 张林晔,蒋有录,刘华,等.东营凹陷油源特征分析[J].石油勘探与开发, 2003, 30(3): 61~64
Zhang Linye, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. Relationship between source rock and oil accumulation in Dongying sag [J]. Petroleum Exploration & Development, 2003, 30(3): 61~64
- 庞雄奇,李素梅,金之钧,等.渤海湾盆地八面河地区油气运聚与成藏特征分析[J].中国科学(D辑), 2004, 34(增刊I): 152~161
Pang Xiongqi, Li Sumei, Jin Zhijun, et al. Petroleum migration and accumulation in Bamianhe area of Bohai Bay basin [J]. Science in China (Series/D), 2004, 34(S1): 152~161
- Huang H P, Larter S R, Love G D. Analysis of wax hydrocarbons in petroleum source rocks from the Damintun depression, eastern China, using high temperature gas chromatography [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34(12): 1673~1687
- 吕修祥.渤海湾盆地八面河地区潜山油气聚集[J].石油学报, 1999, 20(2): 23~29
Lu Xiuxiang. Petroleum accumulation in buried-hills in Bamianhe area of Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 23~29
- 马丽娟,何新贞,陈海云.草桥-广饶潜山油气藏特征[J].石油与天然气地质, 2002, 23(1): 96~98
Ma Lijuan, He Xinzhen, Chen Haiyun. Characteristics of buried-hill oil pools in Caoqiao-Guangrao [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 96~98
- 徐国盛,李国蓉,王志雄.济阳坳陷下古生界潜山储集体特征[J].石油与天然气地质, 2002, 23(3): 248~254
Xu Guosheng, Li Guorong, Wang Zhixiong. Characteristics of buried hill reservoirs from Lower Palaeozoic of Jiyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 248~254

(编辑:李军)