

济阳坳陷渤南洼陷沙河街组二段 多源供烃成藏模式

张鹏^{1,2}, 张金功¹, 张亮², 袁义东¹, 郝杰¹, 杨燕¹

(1. 西北大学地质学系, 西安 710069; 2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 西安 710075)

摘要: 济阳坳陷渤南洼陷沙河街组二段具有顶底多源供烃的成藏特征。针对多源供烃油气成藏模式认识不清以及沙二段整体研究程度较低等问题, 依据钻井、测井、地震和分析化验等资料对其开展了研究。结果表明, 渤南洼陷沙二段油气成藏由沙四上亚段、沙三段和沙一段3套烃源岩提供油源, 沙二段底部扇体及碳酸盐岩沉积与顶部泥岩构成了有利的储盖组合, 断层和不整合面组成了立体输导体系; 断裂体系和不整合对油气运移和聚集具有重要影响, 储集层物性控制油气富集程度; 据成藏期和油源不同, 渤南洼陷沙二段油气成藏可分为“中期成藏、双源供烃”和“晚期成藏、三源供烃”2种模式; 2种成藏模式下多形成由单源油和混源油组成的岩性圈闭、构造圈闭以及构造岩性复合圈闭油藏; 自下而上、自洼陷中心向边缘, 油气藏的形成时间由早到晚差异聚集。

关键词: 多源供烃; 成藏模式; 成藏主控因素; 沙河街组二段; 渤南洼陷; 济阳坳陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Reservoir-forming pattern with multiple sources in second member of Shahejie Formation, Bonan Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

ZHANG Peng^{1,2}, ZHANG Jingong¹, ZHANG Liang², YUAN Yidong¹, HAO Jie¹, YANG Yan¹

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: The second member of Shahejie Formation (Es_2) in the Bonan Sag of Jiyang Depression has multiple hydrocarbon sources, both from top and bottom. Drilling, logging, seismic and testing data were applied in the analyses of Es_2 in view of the unclear understanding of multi-source hydrocarbon accumulation models and the low overall study level of Es_2 . It was concluded that the hydrocarbon in the Es_2 was sourced from three sets of source rocks in the upper section of the fourth member (Es_4), the third member (Es_3) and the first member (Es_1) of Shahejie Formation. The fans and carbonate rocks at the bottom and the mudstones on the top of Es_2 served as favorable reservoirs and cap rocks, respectively. Faults and unconformities formed a 3D transport system, which had a significant influence on hydrocarbon migration and accumulation. The physical properties of reservoirs restricted hydrocarbon enrichment. Two reservoir-forming patterns, ‘accumulation during the middle stage with two sources’ and ‘accumulation during the late stage with three sources’, were established according to the difference of accumulation stage and source. Lithologic, structural and structural-lithologic traps were formed with single or multiple sources under these two patterns. The major accumulation stages have a trend of being late gradually from bottom to up and from the sag center to the edge.

Key words: multiple-sources hydrocarbon supply; accumulation pattern; main controls for accumulation; second member of Shahejie Formation; Bonan Sag; Jiyang Depression; Bohai Bay Basin

我国东部广泛发育多旋回的断陷盆地, 而断陷盆地往往发育多套烃源岩^[1-5]。前人针对“下生上储”多源供烃的成藏模式研究已取得大量认识^[6-7]。但对于夹杂在多套烃源岩中间的储集体来讲, 其有顶底双向供烃的油气来源, 不同来源的

油气分布规律具有差异性。确定各来源油气的成藏特征和分布规律对油气勘探具有指导意义。渤海湾盆地济阳凹陷渤南洼陷一直以来都视沙三段和沙四段为重点研究对象^[8-13], 而沙二段长期缺乏深入系统的研究, 造成沙二段油气主控因素以及成

藏规律等方面认识不清。而近几年勘探实践表明,沙二段在储量区外还有多口探井获工业油流或低产油流,显示出了一定的勘探潜力。因此,本文针对以上问题,对渤南洼陷沙二段油气成藏要素和多源供烃的成藏特征展开了研究,最终建立了多源供烃的成藏模式,以期研究结果能够指导渤南洼陷沙二段勘探部署。

1 区域地质概况

渤南洼陷位于济阳拗陷沾化凹陷东部,是沾化凹陷东部的一个三级负向构造单元,其北靠埕东凸起,南临陈家庄凸起,西接义和庄凸起,东为孤岛凸起,是济阳拗陷古近系、新近系发育最全、沉积厚度最大、成藏条件最好的洼陷^[14]。渤南洼陷沙二段沉积期处于断陷收敛期^[15],构造活动整体较弱,使得传统意义上的陡坡带不复存在,同时其处于二级层序的低位域沉积阶段,基准面较低(图1),四周凸起皆受剥蚀,从而为洼陷提供物源^[16]。总体上沙二段沉积厚度在80~150 m,地层呈现北厚南薄的特点。在沙二段上、下分别发育沙一段、沙三段以及沙四上亚段烃源岩,沙二段储集体被多套烃源岩所夹持(图1),具有多源供烃的成藏特点。

2 成藏要素

2.1 油源条件

渤南洼陷是一个典型的富生油洼陷,古近系主要发育了沙四上亚段、沙三段和沙一段3套烃源岩^[17]。其中沙四上亚段暗色泥岩厚度为50~300 m,有机碳含量在1.0%~3.0%,氯仿沥青“A”含量多

在0.12%~0.34%,干酪根主要为Ⅱ₁型,为成熟—高成熟烃源岩。沙三段暗色泥岩厚度可达600~1 000 m,有机碳含量0.5%~8.0%,且多在2.0%~5.0%;氯仿沥青“A”含量为0.5%~1.02%,平均值高达0.56%,干酪根主要为Ⅰ型,为成熟烃源岩。沙一段暗色泥岩厚度一般在300~400 m,有机碳含量在0.9%~7.0%,多在2.0%~4.0%区间,氯仿沥青“A”含量为0.06%~1.42%,平均达0.73%,干酪根以Ⅰ型为主,由于沙一段烃源岩最大埋深约3 200 m,大部分埋深在2 500~2 800 m,对应的 R_o 为0.43%~0.60%,为低熟烃源岩。

2.2 储盖组合

渤南洼陷沙二段沉积初期为低位域沉积早期^[18],总体上为浅湖背景下的碎屑岩、碳酸盐岩混合沉积。洼陷边缘近物源处以扇三角洲为主,扇三角洲前端存在较大规模的砂岩滩坝;在无陆源碎屑注入的局部地区还沉积有生物灰岩、白云岩等碳酸盐岩滩坝(图2a),此类储集体构成了沙二段的主要储集层类型。沙二段沉积中晚期,随着湖平面的上升沉积了大量泥岩^[18],泥岩厚度最大可达上百米,是一套局域性的盖层,该盖层与下部储集层匹配;成为了研究区沙二段有利的储盖组合(图1)。

2.3 输导体系

渗透性砂体、不整合与断层所组成的三元输导格架已被地质研究人员所熟知^[19-20],渤南洼陷沙二段油气运移的通道也是如此。首先,渤南洼陷起输导作用的渗透性砂体主要发育在洼陷边缘,这些区域在沙二段不同沉积时期均有砂体发育,砂体层层叠置并与洼陷中心沙三段烃源岩相接;其次,对渤南洼陷沙二段油气成藏起输导作用的不整合面主要是沙二段/沙三段界面,这一界面多为超覆/消截关系,界面上下岩性存在多种配置关系,包括砂岩/砂岩、砂岩/泥岩(油页岩)、泥岩/泥岩、生物灰岩/泥岩以及泥岩/白云岩等,岩性配置的不同决定了不整合面的油气输导能力存在差异;再者,断层对渤南洼陷沙二段油气成藏所起的输导作用较大,其中边界断层发育早、活动时间长、断距大,不但控制着沉积、构造和生烃洼陷的发育,还直接断穿烃源岩,从而成为研究区最重要的油气运移通道。此外,洼陷内发育的一系列内部次级断层对油气输导所起的作用同样重要,研究区断穿沙二段储集层,沟通沙三段、沙四上亚段烃源岩的断层较多(图2a),且大部分在排烃期处于活动状态,对成藏极为有利;同时洼陷内部断穿沙二段储集体和沙一段烃源岩的断层也较多(图2b),大部分断层活动时

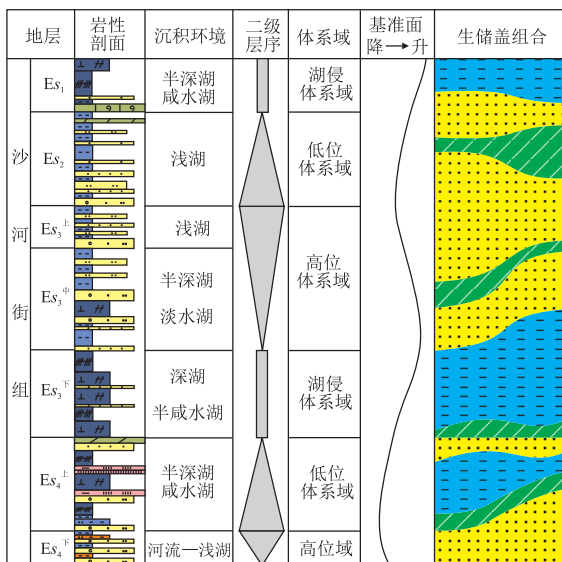


图1 济阳拗陷渤南洼陷地层综合柱状图

Fig.1 Comprehensive column of Bonan Sag, Jiyang Depression

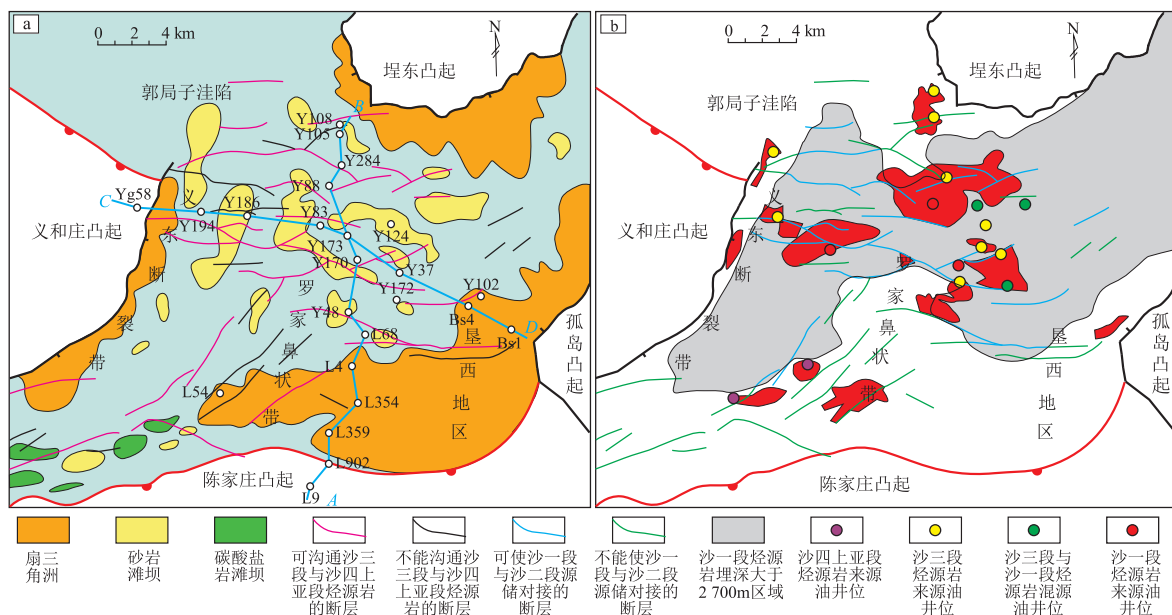


Fig.2 Hydrocarbon accumulation elements of Es₂ in Bonan Sag, Jiyang Depression

间短、断距相对较小,主要活动期在古近纪^[21]。当馆陶组沉积期油气大量生成并运移时^[22],断层的活动性减弱,断层封堵性增强,垂向输导能力降低,沙一段烃源岩生成的油气很难通过断层进行垂向运移,而是优先侧向运移进入到对接的沙二段储集层中聚集成藏。

总体上,研究区沙二段油气的运移路径在不同区域存在差异,其中在边界断层附近,由砂体、断层和不整合面组成立体网络通道,油气可在从油源区侧向运移的基础上,进行垂向运移,直至有利圈闭中聚集成藏(图 3)。相对而言,洼陷内部和斜坡带运移通道简单,往往为上述通道的 1 种或 2 种组合,

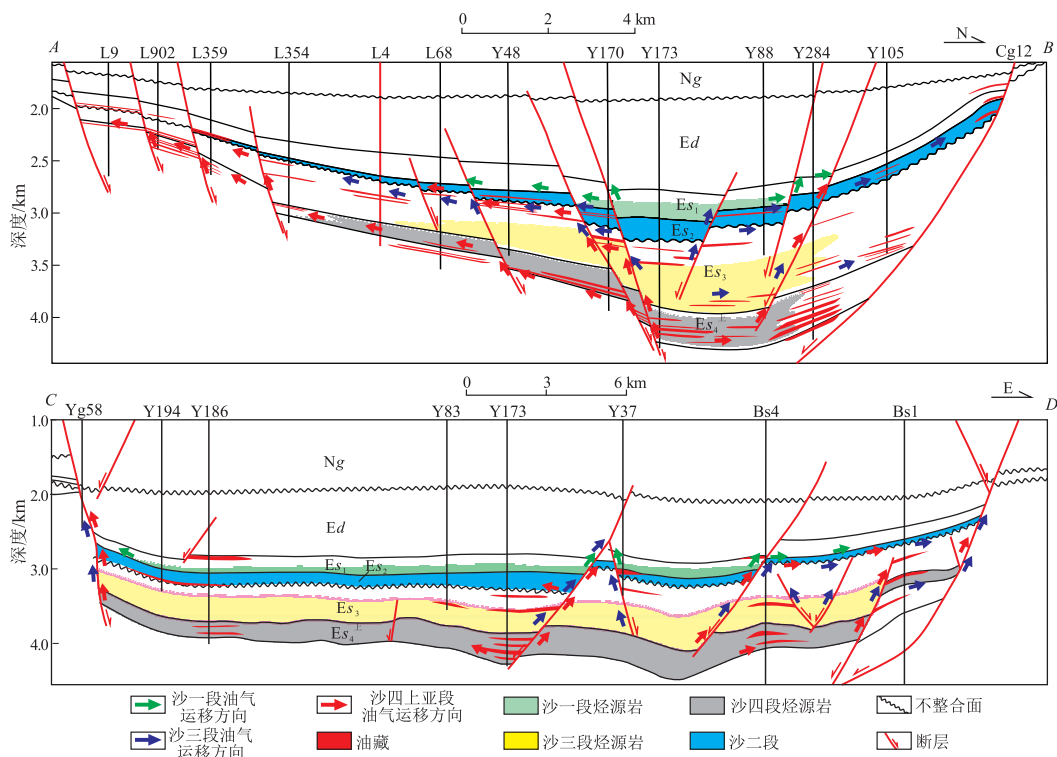


Fig.3 Oil and gas migration and reservoir distribution in Bonan Sag, Jiyang Depression

运移方式以侧向为主(图 3)。

3 多源供烃成藏特征

3.1 油源对比

通过对渤南洼陷烃源岩和沙二段原油的地质指标进行分析发现, Y124 井沙二段原油具有明显的植烷优势和极高的伽马蜡烷含量, 三环萜烷和甲藻甾烷丰富, C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 甾烷以生物构型为主(图 4a)。此油样的地球化学特征整体上和 Y102 井沙一段油页岩具有较高的相似性(图 4a), 说明其油源为沙一段烃源岩。同时, 将 Y108 井沙二段油砂与 Y172 井沙三下亚段灰黑色油页岩和 Y102 井沙一段灰褐色油页岩进行对比, 发现 Y108 井原油伽马蜡烷含量高, 甲藻甾烷和 4-甲基甾烷发育, 地球化学特征兼具沙三段和沙一段烃源岩的特征, 应为二者的混源油。此外, 将 L54 井沙二段原油进行分析发现, 其具有较高的伽马蜡烷含量以及 C_{35} 藿烷“翘尾”现象, 这一特征与 L4 井沙四上亚段灰

褐色含膏泥岩相似(图 4c), 其油源应为沙四上亚段烃源岩。由此可见, 研究区沙二段既有来自于其下伏沙四上亚段、沙三段烃源岩的原油, 又有来自于其上覆沙一段烃源岩的原油, 渤南洼陷沙二段油气藏具有多源供烃的特点。将研究区沙二段已上报石油地质储量进行来源劈分, 统计得出: 已明确来源于沙四上亚段烃源岩的储量仅占总储量的 6.3%, 来源于沙三段烃源岩的储量占总储量的 57.5%, 来源于沙一段烃源岩的储量占总储量的 12.6%, 沙三段与沙一段烃源岩的混源油储量占总储量的 7.6%。实际上, 研究区某些混源油的孤立出油井区并未上报储量(图 2), 此外还有些已上报储量区由于未开展原油生标参数的分析暂不能明确原油来源, 因此研究区混源油所占比重应大于现阶段统计结果, 在下步油气勘探中也有望发现更多的混源油藏。

油源对比分析表明, 研究区沙二段已发现油气大部分来自于沙三段烃源岩。此外, 不同来源的油

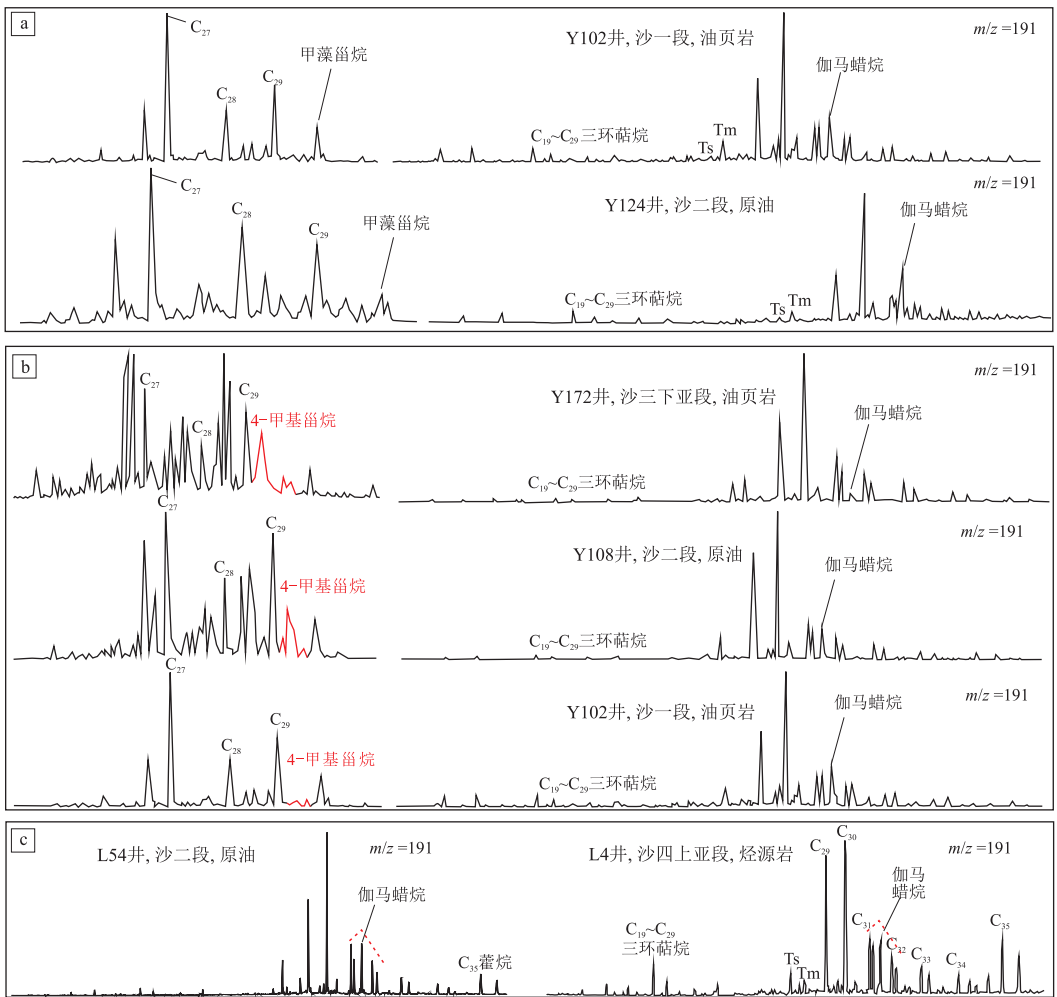


图 4 济阳坳陷渤南洼陷沙二段油源对比

Fig.4 Oil and source rock correlation of Es₂ in Bonan Sag, Jiyang Depression

气在平面也呈现出一定的规律性,展示出不同层系烃源岩对不同区带的供烃存在差异(图2)。首先,沙四上亚段烃源岩生排的油气主要出现在沙二段南部已发现的油藏中,这一区域存在可沟通沙四上亚段烃源岩的断层,分析认为沙四上亚段烃源岩生排的油气主要通过断层纵向运移至沙二段储层中;其次,沙三段烃源岩生排的油气在研究区沙二段的中部和北部都有发现,分布范围较广,这些区域多存在可沟通沙三段烃源岩的断层,认为油气应先通过断层纵向运移至浅部,再通过不整合面和砂体进行横向运移,遇有利圈闭聚集成藏;再者,沙一段烃源岩生排的油气主要集中在研究区沙二段的中部,这些区域多存在可使沙一段与沙二段源储对接的断层,分析认为油气应主要通过横向运移至沙二段储层中。

3.2 成藏期次

渤南洼陷作为高勘探程度区,油气成藏期次研究已较为成熟,大量的研究已证实渤南洼陷经历了2次充注、3次成藏过程^[23-24]。结合前人研究成果,依据本次多块样品流体包裹体均一温度测试数

据(表1),认识到虽渤南洼陷沙四上亚段烃源岩最早在东营组沉积期就进入生烃门限并生排烃^[23-24],但这一时期生烃量有限,烃类多充注到与沙四上亚段烃源岩临近的砂体中形成岩性油气藏。随着渤南洼陷地层不断埋藏沉降,沙四上亚段和沙三段烃源岩逐渐进入生烃高峰并发生大规模排烃作用^[23],第二次油气充注过程开始。研究区沙二段油藏的形成主要得益于第二次油气充注过程,这一充注过程始于馆陶组沉积晚期直至今今。据与烃类伴生的盐水包裹体均一温度测试,出现85~90℃以及105~115℃2个峰值区间,分别对应于馆陶组沉积晚期、明化镇组沉积晚期至现今2个时间段(图5),表明第二次油气充注过程又可分为2期成藏:首先在馆陶组沉积晚期(8~6 Ma)发生大规模油气运聚,随后地层压力降低,排烃停止;但随着地层埋深的不断加大,到明化镇组沉积晚期(3 Ma),烃源岩的持续生烃造成的异常高压再次突破排烃门限压力,又一次发生了油气成藏。这一时期沙一段烃源岩也有一定数量低熟油生成。3套烃源岩生成的油气共同进入到沙二段储集层中聚集成藏。

表1 济阳拗陷渤南洼陷沙二段烃伴生盐水包裹体均一温度数据
Table 1 Uniform temperature data of associated brine inclusions in Es₂ in Bonan Sag, Jiyang Depression

井号	深度/ m	包裹体 宿主矿物	均一温度/ ℃	井号	深度/ m	包裹体 宿主矿物	均一温度/ ℃
义124	2 783.0	石英	84.6	义284	2 889.5	石英	109.3
义124	2 783.0	石英	86.0	义284	2 889.5	石英	110.8
义124	2 783.0	石英	88.8	义284	2 889.5	石英	113.2
义124	2 783.0	石英	89.0	义284	2 889.5	石英	116.3
义124	2 783.0	石英	89.8	义284	2 889.5	石英	117.9
义124	2 783.0	石英	108.5	义284	2 901.0	石英	80.5
义124	2 783.0	石英	111.2	义284	2 901.0	石英	83.2
义124	2 783.0	石英	111.8	义284	2 901.0	石英	84.7
义124	2 783.0	石英	115.3	义284	2 901.0	石英	87.6
义124	2 783.0	石英	116.8	义284	2 901.0	石英	92.9
义124	2 786.3	石英	86.9	义284	2 901.0	石英	106.4
义124	2 786.3	石英	89.2	义284	2 901.0	石英	107.3
义124	2 786.3	石英	90.2	义284	2 901.0	石英	108.9
义124	2 786.3	石英	108.8	义284	2 901.0	石英	110.1
义124	2 786.3	石英	111.7	义284	2 901.0	石英	111.1
义124	2 786.3	石英	112.0	义284	2 901.0	石英	113.1
义124	2 786.3	石英	116.2	义284	2 901.0	石英	119.9
义124	2 786.3	石英	117.1	义284	2 903.5	石英	89.3
义284	2 889.5	石英	81.2	义284	2 903.5	石英	90.3
义284	2 889.5	石英	85.8	义284	2 903.5	石英	101.5
义284	2 889.5	石英	86.5	义284	2 903.5	石英	106.9
义284	2 889.5	石英	87.4	义284	2 903.5	石英	109.4
义284	2 889.5	石英	89.3	义284	2 903.5	石英	110.9
义284	2 889.5	石英	95.7	义284	2 903.5	石英	112.7
义284	2 889.5	石英	106.5	义284	2 903.5	石英	118.1

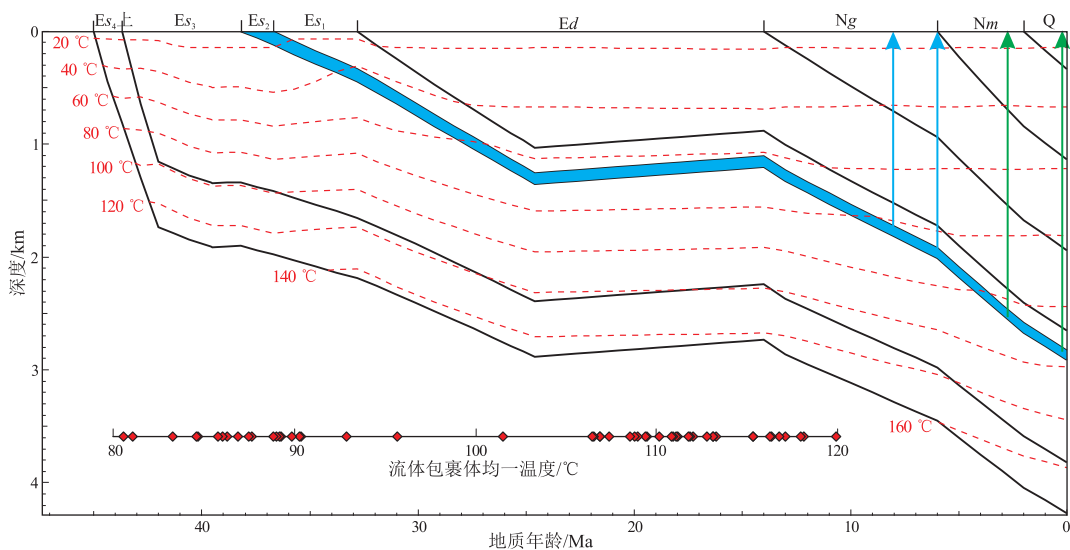


图 5 济阳坳陷渤南洼陷 Y284 井沙二段油气成藏期次分析

Fig.5 Accumulation period of Es₂ in well Y284, Bonan Sag, Jiyang Depression

3.3 油气成藏主控因素

渤南洼陷沙二段多源供烃的特点决定了其油源十分丰富。此外,沙二段扇体和滩坝砂体广泛存在,空间上相互叠置,储集层丰富,同时多套断裂体系和地层从下往上逐层超覆的特点使研究区发育多类型圈闭,主要有构造圈闭、构造—岩性复合圈闭、滩坝砂体岩性圈闭以及南部斜坡带普遍发育的地层超覆圈闭。研究区多源供烃和多类型圈闭条件优越,使得运移路径成为油气能否成藏的关键,在油气运移至多类型圈闭中后虽普遍可见油气显示,但油气富集与否则取决于储集层物性。

3.3.1 断裂—不整合控制油气运移

断裂体系是控制油气成藏的重要因素,其开启时可作为优势通道输送油气,封闭时可成为重要遮挡形成断块圈闭^[25-26]。两方面作用此消彼长,使得断裂体系在不同时期和不同区域对油气成藏的影响方式和程度都存在差异。渤南洼陷边界断层的活动具有长期性和继承性^[17],它既将沙三段和沙四上亚段烃源岩与上部沙二段储集层连接为其输送油气,又在不同构造部位形成岩性—断块、滚动背斜以及断块圈闭,同时洼陷内部的次级断层由于发育数量多(图 2),形成时间和成藏期匹配关系较好^[22],也对沙二段油气成藏起到输导作用。此外,断层发育时伴生的大量微裂缝不仅直接提高了储集层储集性能,而且使烃源岩生烃过程中产生的酸性流体沿断裂带活动,溶蚀断裂带附近储集层,形成一定的次生孔隙。因此,断层对油气运移和储集层改造都具有积极作用。

除断裂体系外,良好的不整合面也可输导油

气,对油气成藏具有重要意义^[27-28]。不整合面能否作为油气运移通道及其对油气运移距离远近的影响,主要取决于不整合面遭受的风化剥蚀程度以及不整合面上、下岩性配置关系和岩性分布的稳定性^[29-30]。由于渤南洼陷沙一段与沙二段之间为整合接触,研究区主要的不整合面是沙三段与上覆沙二段、沙一段之间界面,该不整合面的分布范围超过研究区面积的 80%;同时该不整合面遭受的风化剥蚀时间相对较长,尤其沙三段与沙一段接触区经历了长时间的风化剥蚀,形成的风化壳具有较好的孔渗性,为油气运移的优势通道。此外,不整合面对油气的输导性还取决于岩性配置关系,一般而言,界面上、下均为储集层的岩性配置最好,其次为一面发育储集层的岩性配置。因而,研究区成为油气运移优势通道的不整合面主要分布在沙一段与沙三段接触区,即义东断裂带、罗家鼻状构造东翼和垦西地区南部。

3.3.2 储集层物性控制油气富集

渤南洼陷沙二段储集层岩性类型主要有细砂岩、粉砂岩和含砾砂岩等,此类储集层的发育程度和空间展布决定着油藏的形成和分布,油气成藏后的富集程度则由储集层物性差异决定。通过对研究区沙二段多口井油气显示层段的取心资料进行物性测定发现:油气显示级别为饱含油和油侵的样品孔隙度普遍大于 20%,渗透率普遍大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;油斑和油迹显示的样品孔隙度大于 15%,渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;荧光显示的储集层样品物性相对较差,孔隙度一般小于 15%,渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 6)。同时,据沉积相研究可知,物性较好储集

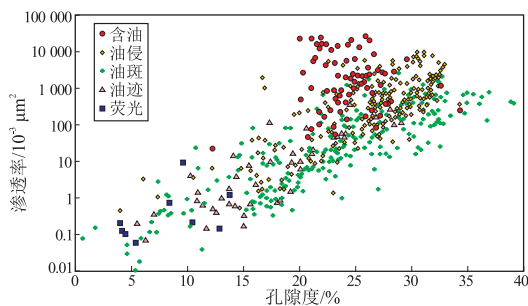


图 6 济阳拗陷渤南洼陷沙二段油气显示与储层物性关系

Fig.6 Relationship between oil and gas show and reservoir physical properties of Es₂ in Bonan Sag, Jiyang Depression

层多为砂岩滩坝相,而物性较差储集层则为扇三角洲沉积,这与目前所发现的原油储量主要集中在物性较好的砂岩滩坝中一致。因此,储集层物性对油气富集程度具有明显的控制作用,物性好的储集层油气显示情况普遍较好,反之则油气显示较差。

4 成藏模式

据油源对比及成藏期次分析结果表明,研究区沙二段在不同成藏时期的油气来源存在差异,形成的原油类型也存在差异,其成藏模式可归纳为“中期成藏、双源供烃”和“晚期成藏、三源供烃”2种。

4.1 “中期成藏、双源供烃”成藏模式

馆陶组沉积末期,渤南洼陷沙四上亚段和沙三段烃源岩 R_o 均大于 0.5%,进入生烃门限。有机质快速生烃导致烃源岩中聚集了异常高的地层压力,当压力高到一定程度会产生大量裂缝,从而排烃卸压。此过程的排烃动力主要是异常高压,排出的原油首先沿断穿沙四上亚段和沙三段的大断层向上运移,遇不整合面后部分原油发生侧向运移,在浮

力驱动下逐渐从洼陷中心向洼陷边缘扩散,到沙二段中遇圈闭聚集成藏。这一成藏模式下多形成岩性油藏和构造—岩性复合油藏。此外由于这一沉积期主要是洼陷中心烃源岩开始生排烃,且数量有限,因此在这一成藏模式控制下,研究区沙二段靠近洼陷中心的圈闭优先被充注,分别可形成沙三段、沙四上亚段烃源岩来源的油藏及其混源油(图 7),洼陷边缘的圈闭多为空。

4.2 “晚期成藏、三源供烃”成藏模式

明化镇组沉积末期,渤南洼陷沙四上亚段和沙三段烃源岩随着埋深的增大全面进入生烃高峰期,生成了大量的油气。充足的油源除充满沙三段和沙四段有利圈闭外,油气在浮力驱动下沿大断裂向上运移。多条连接沙二段与沙三、沙四段的断层和多个不整合面在空间上组成立体的输导体系,油气在立体输导体系沟通下,由下往上、由洼陷中心向边缘呈发散状运移,在沙二段中遇有利圈闭聚集成藏。而此时沙一段烃源岩也有部分低熟油生成,但沙一段烃源岩生成的油气对沙二段充注的空间有限,充注位置也局限于大断裂作用下沙二段储集层比沙一段烃源岩构造位置高或直接对接的部位,只能充注早期未充注或充注未了的储集层。这一成藏模式下,多形成以沙三、沙四段油源为主的构造—岩性油藏、构造油藏,有部分沙一段油源形成的构造—岩性油藏,此外还有沙一段、沙三段以及沙四段相互混源的复杂来源油藏存在。晚期成藏期形成的油藏多聚集在中成藏期未波及到的沙二段顶部或洼陷边缘部位的圈闭中(图 7)。

总体上,渤南洼陷沙二段油气成藏具有 3 方面的特点:首先,沙四上亚段、沙三段和沙一段烃源岩

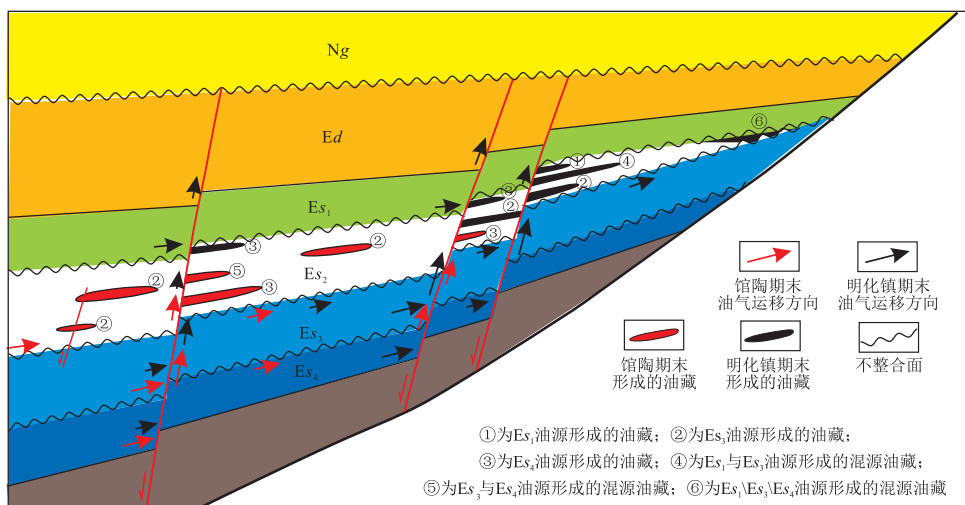


图 7 济阳拗陷渤南洼陷沙二段多源供烃成藏模式

Fig.7 Multiple sources accumulation patterns of Es₂ in Bonan Sag, Jiyang Depression

多源供烃;其次,馆陶组沉积末和明化镇组沉积末2期成藏;再次,自下而上、自洼陷中心向边缘,油气藏的形成时间由早到晚差异聚集。

5 结论

(1) 渤南洼陷具有沙四上亚段、沙三段和沙一段3套烃源岩,油源丰富;沙二段底部扇体及碳酸盐岩沉积与顶部泥岩构成了有利的储盖组合;沙二段油气成藏在不同区域的运移方式和通道不同,输导体系主要由断层和不整合面构成。

(2) 渤南洼陷沙二段油气成藏具有多源供烃的特点;断裂体系和广泛存在的不整合既控制着油气的输导,又可提高储集层储集能力,对油气运移和聚集具有主要影响;储集层物性控制油气富集程度,物性好的储集层油气显示情况较好。

(3) 依据成藏期和油源不同,渤南洼陷沙二段油气成藏可分为“中期成藏、双源供烃”和“晚期成藏、三源供烃”2种模式;2种成藏模式下多形成由单源油和混源油组成的岩性圈闭、构造圈闭以及构造—岩性复合圈闭油藏;自下而上、自洼陷中心向边缘,油气藏的形成时间由早到晚差异聚集。

参考文献:

- [1] 朱光有,金强,戴金星,等.复合生烃系统:陆相断陷盆地烃源岩评价和油气预测的重要概念[J].地质科学,2005,40(1):133-144.
ZHU Guangyou, JIN Qiang, DAI Jinxing, et al. Composite hydrocarbon-generation system: An important concept for source rock evaluation and hydrocarbon prediction in rift lacustrine basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 133-144.
- [2] 康安,杨磊.中国近海及东南亚地区古近纪断陷盆地湖相烃源岩及油气藏分布[J].新疆石油地质,2010,31(4):337-340.
KANG An, YANG Lei. Lacustrine source rock occurrence and its petroleum reservoir distribution of Paleogene fault basins in offshore China and Southeast Asia[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(4): 337-340.
- [3] 金强,朱光有.中国中生代咸化湖盆烃源岩沉积的问题及相关进展[J].高校地质学报,2006,12(4):483-492.
JIN Qiang, ZHU Guangyou. Progress in research of deposition of oil source rocks in saline lakes and their hydrocarbon generation[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 483-492.
- [4] 刘宏宇,陈伟,吴峰.断陷盆地油气运聚成藏的动力学模型与方程:以北部湾盆地迈陈凹陷为例[J].石油实验地质,2017,39(6):738-746.
LIU Hongyu, CHEN Wei, WU Feng. Dynamic models and equations of hydrocarbon migration and accumulation in graben basins: A case study of the Maichen Sag, Beibuwan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(6): 738-746.
- [5] 刘玉瑞.苏北后生—同生断陷盆地油气成藏规律研究[J].

石油实验地质,2016,38(6):721-731.

- LIU Yurui. Petroleum accumulation rules in hystero-genetic reconstructive-syngenetic rift basins, North Jiangsu Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 721-731.
- [6] 王忠.孤岛油田馆陶组含油层系多源供烃判识及成藏分析[J].天然气地球科学,2011,22(3):399-406.
WANG Zhong. Oil sources in multi-directions and accumulation analysis in Guantao Formation of Gudao oilfield in Zhanhua Sag[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(3): 399-406.
- [7] 李其荣,杜本强,隆辉,等.蜀南地区天然气地质特征及勘探方向[J].天然气工业,2009,29(10):21-23.
LI Qirong, DU Benqiang, LONG Hui, et al. Geologic characteristics of gas reservoirs and exploration direction in southern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(10): 21-23.
- [8] 王长江,汤婕,李珂.裂缝储层综合评价方法:以渤南洼陷沙三段下亚段为例[J].油气地质与采收率,2014,21(6):68-71.
WANG Changjiang, TANG Jie, LI Ke. Comprehensive evaluation method on fractured reservoirs: Taking the lower Es₃ in Bonan Sub-sag as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 68-71.
- [9] 于洋,刘鹏,宋国奇,等.渤南洼陷沙四上亚段多类型储集体沉积成岩差异性分析[J].中南大学学报(自然科学版),2015,46(6):2162-2170.
YU Yang, LIU Peng, SONG Guoqi, et al. Analysis of differences about sedimentation and diagenesis of multi-type reservoir in upper part of Es₄ in Bonan Sag[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2015, 46(6): 2162-2170.
- [10] 刘鹏,宋国奇,刘雅利,等.渤南洼陷沙四上亚段多类型沉积体系形成机制[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(9):3234-3243.
LIU Peng, SONG Guoqi, LIU Yali, et al. Mechanism of depositional system in upper fourth member of Shahejie Formation in Bonan Sag[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(9): 3234-3243.
- [11] 姜超.断陷湖盆斜坡带重力流砂体沉积特征及沉积模式:以沾化凹陷渤南洼陷南部斜坡带沙三段为例[J].油气地质与采收率,2018(1):1-8.
JIANG Chao. Characteristics and model of gravity flow sand body deposition in the slope zone of rifted lacustrine basin: A case study from the Sha3 member in the south slope zone of Bonan Sag, Zhanhua Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018(1): 1-8.
- [12] 刘鹏.渤南洼陷沙四段上亚段成岩演化规律特殊性分析[J].油气地质与采收率,2016,23(3):1-7.
LIU Peng. Particularity in diagenetic evolution law in the upper part of 4th member of Shahejie Formation of Bonan subsag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(3): 1-7.
- [13] 蒋启贵,申宝剑,仰云峰,等.渤南洼陷页岩生烃组分动力学分析及其对页岩油气勘探的意义[J].石油实验地质,2016,38(2):231-239.
JIANG Qigui, SHEN Baojian, YANG Yunfeng, et al. Kinetic analysis of hydrocarbon generation components in shales from the Bonan sub-Sag and its significance for hydrocarbon exploration[J].

- Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(2): 231-239.
- [14] 官秀梅,金之钧,曾溅辉,等. 渤南洼陷深层油气成藏特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 473-479.
GONG Xiumei, JIN Zhijun, ZENG Jianhui, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors for deep hydrocarbon accumulations in Bonan Sag in Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4): 473-479.
- [15] 罗文生,张善文,王永诗,等. 渤南洼陷古近系一新近系断层活动与油气成藏[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 34-37.
LUO Wensheng, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, et al. Fault activity and hydrocarbon accumulation in Tertiary of Bonan Sub-sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(3): 34-37.
- [16] 李利波,武法东. 渤南洼陷沙二段扇三角洲沉积体系分析[J]. 地层学杂志, 2011, 35(3): 337-346.
LI Libo, WU Fadong. Sedimentary system analysis of fan delta for the second member of Shahejie Formation at the Bonan Sag [J]. Journal of Stratigraphy, 2011, 35(3): 337-346.
- [17] 刘士林,李原,郭利果,等. 渤南洼陷古近系沙四段—沙三段烃源岩地球化学特征[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 8-11.
LIU Shilin, LI Yuan, GUO Liguang, et al. Geochemical characteristics of Es₃-Es₄ source rocks in Eocene of Bonan Sub-sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(4): 8-11.
- [18] 宋国奇,王永诗,程付启,等. 济阳坳陷古近系二级层序界面厘定及其石油地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(5): 1-7.
SONG Guoqi, WANG Yongshi, CHENG Fuqi, et al. Ascertain secondary-order sequence of Palaeogene in Jiyang Depression and its petroleum geological significance [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 1-7.
- [19] 卓勤功,宁方兴,荣娜. 断陷盆地输导体系类型及控藏机制[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 416-422.
ZHUO Qingong, NING Fangxing, RONG Na. Types of passage systems and reservoir-controlling mechanisms in rift basins [J]. Geological Review, 2005, 51(4): 416-422.
- [20] 李鹤永,田坤,邱旭明,等. 油气优势运移通道形成“三要素”分析:以苏北盆地高邮凹陷 XJZ 油田为例[J]. 石油实验地质, 2016, 38(5): 577-583.
LI Heyong, TIAN Kun, QIU Xuming, et al. Three factors controlling petroleum migration pathways: A case study of XJZ oilfield in the Gaoyou Sag, North Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(5): 577-583.
- [21] 罗文生. 渤南洼陷断裂活动与油气成藏关系研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2007: 31-37.
LUO Wensheng. Study on the relation between fault activity and hydrocarbon accumulation in Bonan Depression [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2007: 31-37.
- [22] 武云云,马立驰,杨贵丽,等. 渤海湾盆地垦东地区新近系断裂特征及其控藏作用[J]. 石油实验地质, 2017, 39(1): 65-70.
WU Yunyun, MA Lichi, YANG Guili, et al. Fault characteristics and their controls on hydrocarbon accumulations in Neogene, Kendong area, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(1): 65-70.
- [23] 徐兴友,徐国盛,秦润森. 沾化凹陷渤南洼陷沙四段油气成藏研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(2): 113-120.
XU Xingyou, XU Guosheng, QIN Runsen. Study on hydrocarbon migration and accumulation of Member 4 of Shahejie Formation in Bonan Sag, Zhanhua Depression, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, 35(2): 113-120.
- [24] 卢浩,蒋有录,刘华,等. 沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 5-8.
LU Hao, JIANG Youlu, LIU Hua, et al. Study on formation stages of oil-gas reservoirs in Bonan Sub-sag, Zhanhua Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 5-8.
- [25] 孟涛,邱隆伟,王永诗,等. 渤海湾盆地济阳坳陷三合村洼陷油气成藏研究[J]. 石油实验地质, 2017, 39(5): 603-609.
MENG Tao, QIU Longwei, WANG Yongshi, et al. Hydrocarbon accumulation in Sanhecun Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(5): 603-609.
- [26] 田鹏,马庆佑,吕海涛. 塔里木盆地北部跃参区块走滑断裂对油气成藏的控制[J]. 石油实验地质, 2016, 38(2): 156-161.
TIAN Peng, MA Qingyou, LÜ Haitao. Strike-slip faults and their controls on hydrocarbon reservoirs in the Yuecan block of the northern Tarim Uplift, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(2): 156-161.
- [27] 郭凯,曾溅辉,金凤鸣,等. 不整合输导层侧向非均质性及其对油气成藏的差异控制作用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(9): 3776-3785.
GUO Kai, ZENG Jianhui, JIN Fengming, et al. Lateral heterogeneity of unconformity structure and its differential control on oil migration and accumulation [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(9): 3776-3785.
- [28] 吴孔友,邹才能,查明,等. 不整合结构对地层油气藏形成的控制作用研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 518-524.
WU Kongyou, ZOU Caineng, ZHA Ming, et al. Controls of unconformity on the formation of stratigraphic reservoirs [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(4): 518-524.
- [29] 宋国奇,隋风贵,赵乐强. 济阳坳陷不整合结构不能作为油气长距离运移的通道[J]. 石油学报, 2010, 31(5): 744-747.
SONG Guoqi, SUI Fenggui, ZHAO Leqiang. No unconformity structure in Jiyang Depression as long distance migration pathway of hydrocarbon [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(5): 744-747.
- [30] 刘毅,陆正元,戚明辉,等. 渤海湾盆地沾化凹陷沙河街组页岩油微观储集特征[J]. 石油实验地质, 2017, 39(2): 180-185.
LIU Yi, LU Zhengyuan, QI Minghui, et al. Microscopic characteristics of shale oil reservoirs in Shahejie Formation in Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(2): 180-185.