

海安凹陷构造特征与油气成藏

冯 堃

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院,江苏 扬州 225009)

摘要:基底先存逆断层的后期反转控制苏北盆地海安凹陷形成地垒式构造样式,喜山期右旋扭张应力场的叠加改造,形成了多次凹、扭动型地垒的构造格局。构造控圈、控藏作用明显:基底的差异性沉降控制了古近系阜宁组二段烃源岩的演化差异;在沉积相主体控制下,同沉积二级断层影响阜宁组三段砂岩储层的分布发育;在晚期成藏的条件下,长期活动断层是油气运移有利通道;构造转换带是圈闭发育和油气成藏的有利区。

关键词:构造特征;构造控藏作用;构造转换带;海安凹陷

中图分类号:TE132 **文献标志码:**A

Structural features and hydrocarbon accumulation in Haian Sag

FENG Kun

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The late inversion of the basement pre-existing reverse faults controls the formation of a horst structural style in Haian Sag of Subei Basin. The superimposed transformation of right-lateral torsional stress field in the Himalayan period has formed a tectonic pattern of multiple concave and twisting horst. The tectonic controlling on the oil reservoir and trap is obvious: the differential subsidence of the basement controls the evolutionary differences of hydrocarbon source rocks in the second member of the Funing Formation in the Paleogene; under the control of the main body of sedimentary facies, the secondary faults of the same sedimentary affect the distribution and development of sandstone reservoirs in the third member of the Funing Formation; under the conditions of the late reservoir formation, the long-term active faults are favorable pathways for oil and gas migration; the structural transfer zone is a favorable area for traps developing and the hydrocarbon accumulation.

Key words: structural features; structural reservoir control; structural transfer zone; Haian Sag

引用格式:冯堃.海安凹陷构造特征与油气成藏[J].复杂油气藏,2024,17(1):11-15,37.

FENG Kun. Structural features and hydrocarbon accumulation in Haian Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(1): 11-15, 37.

海安凹陷位于苏北盆地东台坳陷东部,北邻小海凸起和梁垛低凸起,南接通扬隆起,西为泰州凸起,东与勿南沙隆起相连,面积约3 200 km²。凹陷内陆相中、新生界沉积最大厚度达5 000 m,自下而上发育上白垩统泰州组(K₂t)-第四系东台组(Qd)地层。目前已发现安丰、梁垛、新街等5个油田,明确了泰州组二段(K₂t₂)和阜宁组二段(E₁f₂)两套烃源岩,取得了“低熟烃源、高效排烃、近源成藏”的总体成藏认识。目前因构造因素失利的钻井较多,构造圈闭的发现和落实也愈加困难。因此,深化构造及其控藏作用研究已经成为现阶段油气勘探的重要内容。本文结合地震、钻井资料,在区域构造背景下,从海安凹陷构造特征研究入手,探索构造对烃源岩演化、砂岩储层分布、圈闭形成、油气输导和汇聚的控制作用,系统总结构造控藏作用,为油气

勘探部署提供理论依据。

1 构造特征

目前,针对海安凹陷构造研究的文献不多,陈勇等^[1]描述了富安断层和北凌断层2条二级断层的平面及剖面的走滑特征,并初步分析对油气聚集的影响。陈书平等^[2]描述了海安凹陷断层的展布及组合样式,并在地球动力学背景下分析了新生界以来的断层演化特征。本文基于叠合盆地理论,综合海安凹陷及其下伏海相基底的构造研究认为,在印

收稿日期:2023-06-08;改回日期:2023-10-15。

作者简介:冯堃(1988—),本科,工程师,从事石油与天然气地质研究工作。E-mail: fengkun.jsyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化江苏油田分公司科技项目“苏北盆地常规油气剩余资源勘探方向及关键技术”(JS22001)。

支一早燕山期前陆挤压作用形成海相基底对冲构造的基础上,喜山期扭张作用的叠加形成了海安凹陷多次凹、扭动型地垒的构造格局,发育典型的扭张型构造样式。

1.1 构造格局

与相邻的高邮、金湖及溱潼凹陷的单断式箕状凹陷的构造格局明显不同,海安凹陷表现为多次凹型、扭动型地垒的构造格局(图1、图2),具体特点如下:①海安凹陷内部发育7条二级断层,形成多次凹型构造格局(6次凹1断隆),受二级断层影响,相比杨村、真武等控凹一级断层,海北断层的控凹作用明显减弱;②剖面上,二级断层倾向北部断层北倾,南部断层南倾,整体表现为地垒式组合样式,控制各次凹形成“北部南断北超,南部北断南超”的对称式凹陷格局;③平面上,二级断层走向北部为北东东向,南部为近东西向,控制海安凹陷构造由西往东总体具有“撒开状”特征,同倾向二级断层呈“左阶”式排列组合,同时控制各次凹呈“左阶”式排列;④安丰、曹灶、富东断层为右旋左阶断层,富西、北凌断层为左旋右阶断层,富东断层与北凌断层走滑性质明显,其他断层以张性为主。

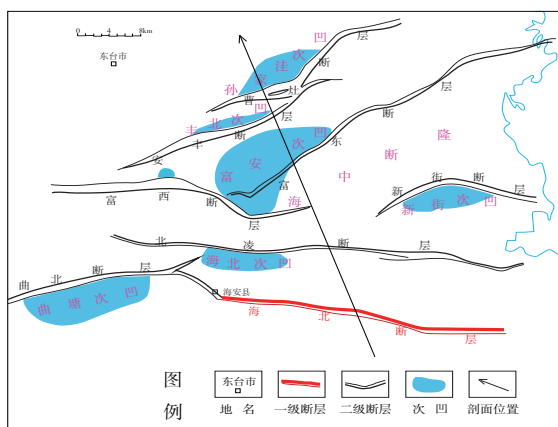


图1 海安凹陷构造格架(T_4^0 断裂)

1.2 构造样式

海安凹陷各级断层在剖面上构造样式丰富,平面上以雁列式为主。单条二级断层,剖面上见负花状型、“y”字型、板状型等多种样式(图4)。平面上,北部的曹灶断层、安丰断层、富安东断层均为右行左阶雁列式排列,而富安西断层和北凌断层表现为左行右阶雁列式排列。

三、四级断层的构造样式在剖面上主要有4种类型(图3)。梁垛、安丰及富安东地区表现为滚动背斜型;北部的孙家洼地区表现为顺向断阶型;海中地区长期处于应力集中地区,表现为垒堑叠置型。富安西及南部的南街、海北地区,主要为反向断阶型。

1.3 形成机制

1.3.1 基底先存构造奠定海安凹陷构造格局基础

盆地基底先期构造的差异是形成海安凹陷与相邻金湖、高邮凹陷不同的构造特殊性的主要原因。在苏北盆地形成之前,受印支一早燕山期前陆造山作用的重要影响,下扬子地区呈现南北对冲型复式地堑的构造格局^[6-7]。苏北地区主体处于下扬子北部前陆褶断带,构造应力场以左旋压扭性为主,形成广泛的挤压逆冲推覆构造,金湖、高邮、溱潼等地区均发育叠瓦状北倾逆冲断层和褶皱。而中部对冲带大致沿南京—黄桥—海安一线呈北东向延伸,表现为南北对冲的地堑式构造样式。与金湖、高邮地区表现的由北向南单向逆冲的构造样式不同,位于对冲带东部的海安地区,表现出典型的对称式地堑特征。形成了以海中地区为中心、海安地区南北两侧断层均为叠瓦状的组合样式,北部主体为北倾断层,南部主体为南倾断层。这种差异性的基底构造样式,为新生界盆地发育不同的构造格局奠定了基础。

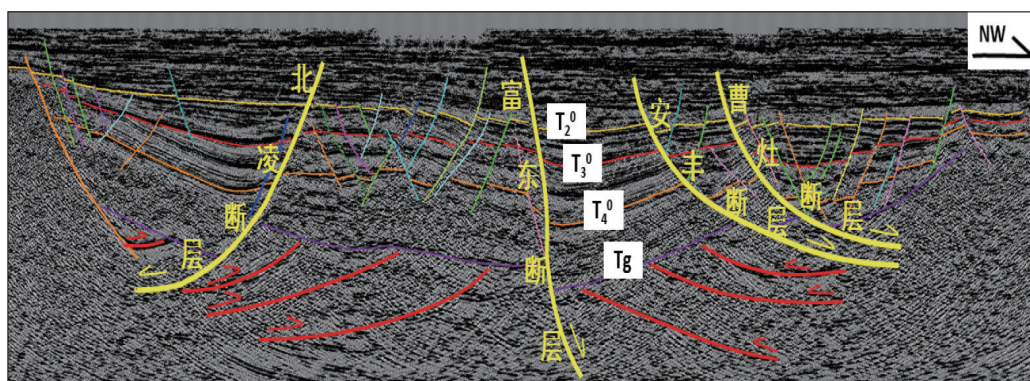


图2 海安凹陷北北西向地震地质解释剖面(剖面位置见图1)

级别	构造样式	典型剖面	代表断层	级别	构造样式	典型剖面	发育地区
二级断层	负花状		富西断层	三级断层	滚动背斜		梁垛地区 安丰地区 富安东地区
	“y”字形		北凌断层		顺向断层		孙家洼地区
	板状		富东断层		垒堑叠置		海中地区
一级断层					反向断阶		富安西地区 新街地区 海北地区

图3 海安凹陷构造样式典型剖面

1.3.2 喜山期右旋扭动应力场最终将构造定型

黄桥转换事件之后,海安凹陷经历了长期的喜山期构造演化活动^[2]。期间区域构造应力场以右旋张扭作用为主,海安地区早期的基底逆冲断层部分反转回滑,由地堑反转形成现今地垒式构造格局(图4)。

北部的曹灶断层、安丰断层、富安西断层大致相当于地垒的北界断层,南部的新街断层、北凌断层、曲北断层相当于地垒的南界断层。在平面上,上述边界断层总体均表现出右行左阶雁列式排列,剖面上则是阶梯状组合样式。由二级断层控制的次凹同样也表现出左阶排列的特征。

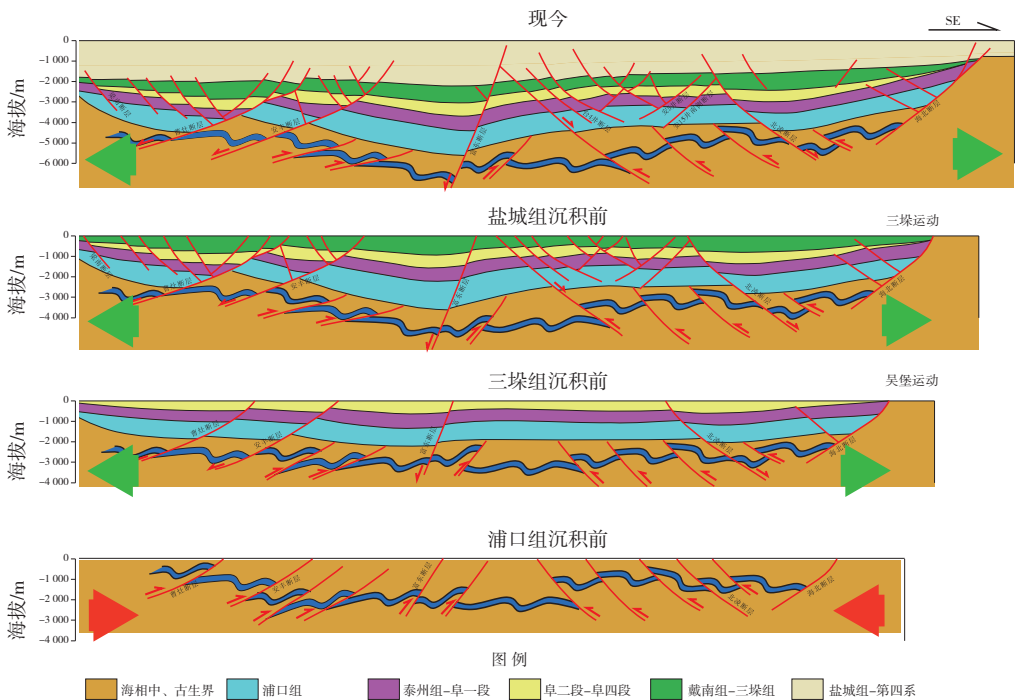


图4 海安凹陷构造演化剖面(85nh117.5地震测线)

2 构造对成藏条件的影响

2.1 差异性基底沉降控制烃源岩演化差异

分析区内 H2 (R_o 1.0%)、A5 (R_o 0.52%)、A24 (R_o 0.62%)等井不同深度实测镜质体反射率数据,认为海安凹陷 E_1f_2 烃源岩成熟演化差异受东西部差异性基底沉降控制。同时,北西向基底断层,即淮阴—东台断层在喜山期吴堡运动和三垛运动的构造活动对东西部基底沉降和地层沉积起到重要的作用。

吴堡运动时期,苏北盆地所处的扬子板块处于东部西太平洋板块向西俯冲之下,在单一的东部力源作用下,基底整体抬升。靠近力源的苏北盆地东部,地层抬升强烈,因此仅在局部地区(如盐①断层

下降盘)保留了戴南组(E_2d)的沉积,厚度0~200 m。而在苏北盆地西部,一方面由于远离东部力源,另一方面受淮阴—东台断层的遮蔽作用保护,基底抬升相对弱,因此沉积了较厚的 E_2d ,厚度200~1 400 m(图5a)。

三垛运动时期,位于西南方向的印度洋板块俯冲到欧亚大陆板块之下,苏北盆地区受到的区域力源转为以西南方向为主。同样,在东西部基底差异沉降及淮阴—东台断层的协调作用下,苏北盆地西部抬升相对强烈,新近系及第四系($Qd-Ny$)沉积厚度为200~1 600 m,而苏北盆地东部基底抬升相对弱, $Qd-Ny$ 沉积厚度相对较大,为400~2 400 m(图5b)。

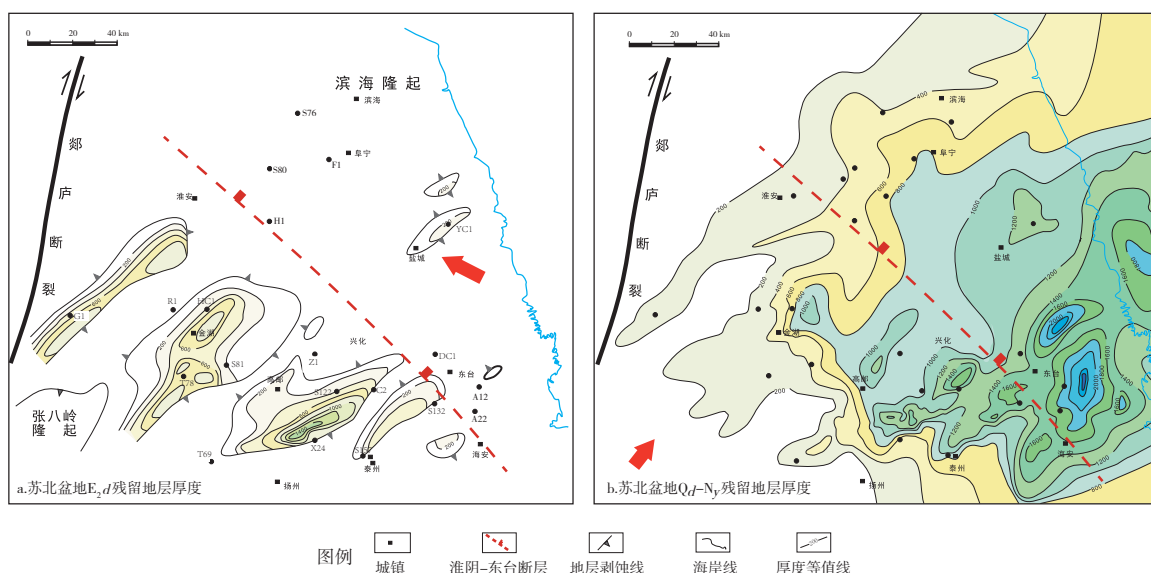


图5 苏北盆地喜山期“跷跷板式”差异性基底沉降(红色为淮阴—东台断层)

由此,形成了苏北盆地东西部地层沉积差异,苏北盆地西部 E_2d 残留地层厚, $Qd-Ny$ 地层薄,为“皮薄肉厚”特征;苏北盆地东部 E_2d 残留地层薄, $Qd-Ny$ 地层厚,为“皮厚肉薄”特征。地层沉积差异造成了东西部地区埋藏史的明显差异,进一步控制了 E_1f_2 烃源岩成熟演化差异。在苏北盆地西部,由于吴堡运动弱,金湖凹陷、高邮凹陷、溱潼凹陷以及海安凹陷的曲塘次凹, E_1f_2 烃源岩在三垛组沉积早期就已达成熟生烃门限,后期持续生烃,属于烃源岩“早期成熟、持续发育型”;而在苏北盆地东部,由于吴堡运动强,海安凹陷的其他各次凹及白驹凹陷、盐城凹陷等地区, E_1f_2 烃源岩在 Ny 沉积期才达到成熟生烃门限,生烃时间晚,属于烃源岩“晚期成熟、晚期发育型”。

2.2 沉积相与同沉积断层共同控制砂岩储层的分布

海安凹陷阜宁组三段(E_{1f_3})整体为三角洲前缘—滨浅湖沉积体系,物源来自北部,沉积相与同沉积二级断层共同控制了 E_{1f_3} 砂岩储层分布,具有“北多南少、东多西少”的平面展布特征。

在北部的孙家洼、安丰等地区,砂岩储层主要发育在水下分流河道、河口坝等沉积相带。海安凹陷处于三角洲前缘东部侧缘地区,物源能量至此已经相对较弱,并且同沉积活动的二级断层与物源方向近似垂直,在阜宁组沉积期活动强烈。因此,在物源由北向南推进的过程中,遇到强烈活动的断崖时,必然受其影响,更趋向于沿断层之间的转换斜坡向南运移。

实钻情况表明,位于安丰断层、富东断层南北两侧的砂岩发育差异性明显,具有北多南少的特征。而位于构造斜坡地区的FAX2井,砂岩发育情况好,比曹灶断层以北钻井更加发育。说明来自西北部的主物源,受安丰断层的影响,河道主要沿安丰断层、曹灶断层之间的转换斜坡向南推进。因此在孙家洼、丰北及富安东地区砂体发育,是构造油藏勘探的有利区。而富安西、海中及富东断层以南的地区砂岩相对不发育,是断层-岩性油藏勘探的有利区。

2.3 长期活动断层是油气运移的有利通道

断层活动性分析表明,海安凹陷发育三类不同活动期的断层:吴堡期断层、吴堡—三垛期断层及吴堡—盐城期长期活动断层。吴堡期断层停止活动时间较早,因其较好的侧向封挡作用常作为控藏断层。长期活动断层自吴堡期开始形成,多期活动,至 N_y 沉积早期才停止活动,此外,有少数断层一直活动到 N_y 沉积末期。

而 N_{y1} 晚期— N_{y2} 期活动的断层,尤其是 N_{y2} 期活动且断至 E_1f_2 的断层为油气垂向运移的良好通道。由于运移期这些活动断层为应力释放带,形成低势区,加之断层活动形成对油气的泵吸作用,使得油气向着这些断层附近优势运移。因此,能够沟通 E_1f_2 成熟烃源岩的长期活动断层对于油气纵向输导起到重要作用,控次凹断层如曹灶断层、富东断层,新街断层、曲北断层以及斜坡少数次级断层属于此类。

2.4 多级构造变换带是圈闭形成和油气聚集的有利区

构造变换带(Transfer zone)既是油气运聚有利区,也是储层发育的有利区,是油气勘探的有利地区。在构造研究基础上,将海安凹陷划分为三级构造变换带。

一级构造变换带是位于二级断层之间,调节二级断层之间张扭性形变的构造带。海安地区共发育5个一级构造变换带,分别为:①曹灶—安丰变换带;②安丰—富西变换带;③富西—富东变换带;④富西—新街—北凌变换带;⑤北凌—曲北变换带。其间往往形成规模相对较大的构造背景。

二级构造变换带是位于二级断层内部,调节二级断层自身张扭形变的构造带。海安凹陷二级断层发育,在一系列NE右行扭动雁列断层的转换部位,扭动应力最剧烈,地层易于变形而形成构造背

景,形成的圈闭以断鼻及断块型圈闭为主。海安凹陷目前发现二级构造变换带19个,其间已发现了A11、FA1、B4块油藏。

三级构造变换带位于各次凹斜坡上三、四级断层之间,是调节三、四级断层之间张扭性形变的伴生构造带,形成的断鼻、断块圈闭群呈北西向圈闭带展布。海安凹陷目前发现三级构造变换带17个,已发现B1块、T7块油藏,均表现为在两条三级断层之间、在张扭性应力场下、在变换部位形成的断鼻状构造。

3 结论

(1)印支—燕山期挤压性构造活动、喜山期扭张性构造活动叠加改造形成海安凹陷由西向东呈撒开状、多次凹型、扭动地垒的构造格局。发育右旋左阶式和左旋右阶式雁列断层。其中富东断层与北凌断层为张扭性质的走滑断层,其他断层表现为扭张性质的正断层。

(2)东西部力源变化和北西向淮阴—东台断层共同控制苏北盆地基底差异性沉降演化,进而控制了东西部烃源岩成熟演化差异,形成金湖凹陷、高邮凹陷、溱潼凹陷及海安凹陷曲塘次凹“早期成熟、持续生烃型”和海安凹陷其他次凹及盐城凹陷、白驹凹陷“晚期成熟、晚期生烃型”2类生烃模式。

(3)海安凹陷发育多级构造变换带,已确定5个一级构造变换带、19个二级构造变换带和17个三级构造变换带,是圈闭形成和油气聚集的有利区;长期活动断层是沟通海安凹陷 E_1f_2 烃源岩和 E_1f_3 砂岩储层的有利通道。

参考文献:

- [1] 陈勇,刘宏宇.海安凹陷走滑构造特征及其对油气聚集的影响[J].胜利油田职工大学学报,2005,19(5):49-51.
CHEN Yong, LIU Hongyu. Relation between features of strike-slip structure and hydrocarbon accumulation in Haian depression [J]. Journal of Shengli Oilfield Staff University, 2005, 19(5): 49-51
- [2] 陈书平,王小群,王章青,等.海安凹陷上白垩统一新生界断裂形成及演化[J].石油地球物理勘探,2009,44(6):760-766.
CHEN Shuping, WANG Xiaoqun, WANG Zhangqing, et al. The fracture formation and its evolution from Upper Cretaceous to Cenozoic in Haian depression [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44 (下转第37页)

- University of Technology, 2010.
- [27] 罗龙, 孟万斌, 冯明石, 等. 致密砂岩中硅质胶结物的硅质来源及其对储层的影响——以川西坳陷新场构造带须家河组二段为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(3): 435–443.
- LUO Long, MENG Wanbin, FENG Mingshi, et al. Silica sources of quartz cements and its effects on the reservoir in tight sandstones: A case study on the 2th member of the Xujiahe Formation in Xinchang structural belt, Western Sichuan depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(3): 435–443.
- [28] 章顺利. 四川盆地中西部上三叠统须家河组二段孔隙型致密砂岩储层特征与形成机理[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- ZHANG Shunli. Characteristics and formation mechanism of porous tight sandstone reservoir in the second member of Xujiahe Formation, Upper Triassic, central and western Sichuan Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [29] 伊海生. 沉积旋回叠置形式的波形分析及旋回层序划分方法[J]. 沉积学报, 2015, 33(5): 855–864.
- YI Haisheng. The waveform graphic analysis of cyclic stacking patterns in sedimentary successions and detection methods of cyclostratigraphic sequences [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, 33(5): 855–864.
- [30] 宋慧波, 黄志伟, 胡斌, 等. 豫西禹州地区太原组旋回沉积与海平面变化特征[J]. 地质学报, 2020, 94(12): 3790–3802.
- SONG Huibo, HUANG Zhiwei, HU Bin, et al. Characteristics of cyclic deposition and sea level changes of the Taiyuan Formation in Yuzhou city of western Henan province [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(12): 3790–3802.
- [31] 孙春燕, 胡明毅, 薛丹. 松辽北肇源地区泉三段、泉四段岩相类型及组合规律[J]. 复杂油气藏, 2017, 10(2): 10–14.
- SUN Chunyan, HU Mingyi, XUE Dan. Lithofacies types and sedimentary assemblage law: A case of Quan3rd and 4th members in Zhaoyuan area of northern Songliao Basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2017, 10(2): 10–14.
- (编辑 刘义梅)

(上接第15页)

- (6): 760–766.
- [3] 王章青, 李华东, 杜二鹏. 苏北盆地海安凹陷现今构造应力场特征及构造样式[J]. 地质力学学报, 2012, 18(1): 22–31.
- WANG Zhangqing, LI Huadong, DU Erpeng. Features of present structural stress field and structural pattern in Haian depression, Jiangsu Oilfield [J]. Journal of Geomechanics, 2012, 18(1): 22–31.
- [4] 朱光, 姜芹芹, 朴学峰, 等. 基底断层在断陷盆地断层系统发育中的作用——以苏北盆地南部高邮凹陷为例[J]. 地质学报, 2013, 87(4): 441–452.
- ZHU Guang, JIANG Qinqin, PIAO Xuefeng, et al. Role of basement faults in faulting system development of a rift basin: An example from the Gaoyou Sag in southern Subei Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(4): 441–452.
- [5] 王伟锋, 周维维, 周杰, 等. 金湖凹陷隐性断裂带形成机制及分布[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(5): 1395–1405.
- WANG Weifeng, ZHOU Weiwei, ZHOU Jie, et al. Formation mechanism and distribution of buried fault zones in the Jinhu Sag [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44(5): 1395–1405.
- [6] 朱光, 徐嘉伟, 刘国生, 等. 下扬子地区前陆变形构造格局及其动力学机制[J]. 中国区域地质, 1999(1): 74–80.
- ZHU Guang, XU Jiawei, LIU Guosheng, et al. Tectonic pattern and dynamic mechanism of the foreland deformation in the lower Yangtze region [J]. Regional Geology of China, 1999(1): 74–80.
- [7] 丁卫星, 赵挺, 赵胜, 等. 下扬子前陆盆地北部构造变形特征研究[J]. 复杂油气藏, 2013, 6(2): 1–6.
- DING Weixing, ZHAO Ting, ZHAO Sheng, et al. Characteristics of structural deformation in the northern part of lower Yangtze foreland basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2013, 6(2): 1–6.
- (编辑 刘义梅)