

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.03.007

南黄海盆地北部坳陷北凹断裂特征与构造演化

熊忠, 江志强, 孙鹏, 谭思哲, 徐振中, 陈文侠

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要:南黄海盆地北部坳陷北凹是自晚白垩世发育起来的中、新生代凹陷,其凹陷结构具有北断南超、北深南浅的复式箕状特征。平面上可划分为北部断阶带、中部深凹带和南部斜坡带3个次级构造单元。断裂主要为正断层,局部发育少量逆断层,有EW向、NE向和NW向3组;活动时间上可分为早期、中期、晚期断裂;发育板式、铲式、坡坪式等多种类型断裂组合。根据断裂规模和对地层的控制作用,可将断裂分为3级,一级断裂控凹、二级断裂控区带、三级断裂控圈。控凹断裂(千里岩断裂)在凹陷中部断层活动速率最大,沉降快、沉积厚度较大,对应北部断阶带、中部深凹带核心区,在凹陷边缘、斜坡带则活动速率较低。构造演化受仪征、吴堡、真武、三垛4次构造运动事件控制,经历伸展张裂、裂后拗陷2个演化阶段,广泛接受上白垩统浦口组-泰州组,古近系古新统阜宁组,始新统戴南组、三垛组及新近系沉积。综合断裂体系、凹陷沉积充填与构造演化史,预测北凹油气成藏具有近源近断、复杂断块成藏的特点,深大断裂是油气运移和充注的关键因素,断阶带中部、深凹断鼻构造带紧邻生烃中心,发育一批有利构造圈闭,成藏配置条件较好,是有利勘探方向。

关键词:断裂组合样式;断层活动速率;构造演化;南黄海盆地;北部坳陷;北凹

中图分类号:P736.1 **文献标识码:**A

Characteristics and tectonic evolution of the fault system in the north sag of Northern Depression of South Yellow Sea basin

XIONG Zhong,JIANG Zhiqiang,SUN Peng,TAN Sizhe,XU Zhenzhong,CHEN Wenxia

Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract:The north sag of the Northern Depression of the South Yellow Sea basin is a Meso- Cenozoic sag since Late Cretaceous. It is a composite dustpan-like sag with fault and deep basement in the north, and overlapping on shallow basement in the south. There are three secondary tectonic units within the sag, i.e. the northern step-fault zone in the north, the central deep depression zone in the center and the southern slope belt in the south. Normal faults dominate the region with a small amount of overthrust faults locally. The faults could be classified into three groups in EW, and NE, and NW directions according to fault strike. Besides, the faults could be also grouped into three stages, i.e. the early stage fault, mid-term stage fault and late stage fault. Many types of faults have been discovered in this sag, including flat plate fault, shovel-like fault, slope-like fault, and so on. On the basis of fault scale and its control over strata, the faults could be sorted into three levels. The sag is controlled by the first level fault, the zones within the sag are controlled by the second level fault, and the traps are controlled by the third level fault. The activity rate of the Qianliyan Fault passing through the center of the north sag is the highest where rapid depositional rate and thicker deposits occur, corresponding to the core region of the northern step-fault zone and the central deep depression zone. However, the activity rate is smaller relatively on the margins of the sag and slope zones. The tectonic evolution of the northern sag is controlled by four tectonic movements, i.e. the Yizheng movement, Wubu movement, Zhenwu movement and Sanduo movement. The tectonic evolution of the sag may be divided to two stages, i.e. the rifting stage and depression stage. The sag is filled by the Taizhou Formation, Funing Formation, Dainan Formation, Sanduo Formation and Neogene deposits in a time span from Late Cretaceous to Quaternary. On account of above research achievements, the hydrocarbon accumulation model of north sag is described in this paper. Oil and gas are accumulated in complicated fault block traps close to source rock and fault. Deep faults are the key element to drive hydrocarbon moving into traps. The middle step-fault zone and the fault nose region of the deep depression zone are recommended as favorable exploration targets where a batch of favorable traps occur and close to the center of source rock.

Key words:styles of fault combination; active rate of fault; tectonic evolution; South Yellow Sea basin; Northern Depression; north sag

作者简介:熊忠(1982—),男,硕士,工程师,主要从事地震资料解释与地震地质综合研究,E-mail:xyw20010590122@163.com

收稿日期:2018-04-16;**改回日期:**2018-05-21. 蔡秋蓉编辑

南黄海盆地北部坳陷是发育于苏鲁造山带南侧的晚白垩世-古近纪断陷盆地,构造区划上可分为6个次级凹陷和3个凸起,其中北凹规模最大,面积达6500km²,中、新生界地层最大埋深近7000m,是北部坳陷乃至整个苏北-南黄海地区面积最大、埋藏最深的中生代凹陷,也是南黄海中新生代盆地最有利的成藏区域之一^[1,2]。北凹油气勘探已开展40余年,仅在Z1井见到原油,至今未获得商业性油气发现。该区油气勘探存在诸多问题,首当其冲的是凹陷结构与形成机制不清,断裂体系复杂,构造演化、断裂与油气运移成藏之间关系不明,导致勘探效果不理想。

前人针对南黄海盆地北凹的构造、断裂特征及构造演化等开展过长期研究,取得大量非常有意义的研究成果和认识^[3-7]。本文结合已有的成果,针对近期新采集高品质三维地震资料和测网密度达1km×1km的二维测线开展精细解释和地震地质综合分析,深入系统地剖析了凹陷结构、断裂体系特征、断层活动速率和构造演化史,指出有利勘探区带。

1 凹陷结构及主要构造界面

南黄海盆地北部坳陷北凹已钻探5口井,基本揭示凹陷的沉积充填地层(图1),自下而上依次发育上白垩统浦口组、泰州组,古近系古新统阜宁组,始新统戴南组、三垛组,新近系盐城组和第四系东台组,缺失部分始新统和全部渐新统地层^[8,9]。

该凹陷整体呈近EW走向,具有北断南超、北深南浅、北陡南缓的箕状半地堑断陷结构,北侧紧邻千里岩隆起,近EW向边界大断裂和凹陷中部的一条深大断裂将凹陷分割为北部断阶带、中部深凹带和南部斜坡带3个次级构造单元(图2)。受控于南黄海海域中、新生代复杂剧烈的构造应力场作用,断裂极其发育,地层破碎变形严重,形成大量断块、断鼻、断背斜等类型的构造及岩性地层圈闭。

自晚白垩世以来,南黄海盆地发生数次区域性构造运动事件,形成北凹3期盆地叠合结构,地层分为下、中、上3个构造层(图3)。下构造层为晚白垩世-古新世沉积的上白垩统浦口组、泰州组及古近系古新统阜宁组,仪征事件产生的断块活动使北凹拉张形成半地堑沉积格局。受千里岩断裂控制,凹陷及断裂均呈NE-SW走向,地层表现出北厚南薄的楔形特征,泰州组、阜宁组分布非常广泛,在控凹断裂根部沉积厚度最大,向东南方向逐渐抬升,以地

层超覆形式逐步减薄。下构造层在地震剖面上以基底 T_g 为底界,戴南组底 T_{80} 为顶界,自上而下主要存在 T_{80} 、 T_{85} 、 T_{100} 和 T_g 4个强反射界面。

中构造层为始新世断陷期沉积的戴南组和三垛组,吴堡运动之后,南黄海盆地北部坳陷整体拉张沉降,受南北两条边界断层控制,戴南组呈现“北厚南薄”的楔形特征,三垛组则基本等厚沉积,分布广泛,与上覆新近系和下覆戴南组呈不整合接触关系^[10-12]。以戴南组底 T_{80} 为底界,新近系底 T_{20} 为顶界面,存在 T_{20} 、 T_{50} 、 T_{55} 、 T_{80} 4个反射界面。

上构造层为中新世以来区域沉降期的新近系、第四系,该时期构造活动趋于平缓,新近系下盐城组、上盐城组和第四系东台组基本均匀沉积,后期未发生大的构造运动,厚度约1000m。以新近系底 T_{20} 为底界面,存在 T_0 、 T_{10} 、 T_{20} 3个反射界面。

2 断裂特征

南黄海盆地北凹构造活动期次多,断裂体系复杂,断裂平面、剖面组合样式丰富,形成多种类型圈闭,断裂对于北凹地层充填、构造演化、储层展布、油气运聚成藏均有重要影响,深入分析该凹陷断裂展布特征和发育规律具有重要意义。

2.1 断裂平面展布特征

北凹并非简单的深凹陷,发育多个次级洼陷、凸起和斜坡构造、鼻状构造带,千里岩断裂等早期发育的深大断裂对凹陷结构、地层厚度控制作用明显。从西向东,北凹边界断裂逐渐由双断式变为单断式(图2),东段为单断式结构,陡坡带仅发育1条边界断层,西、中段为阶梯式结构,陡坡带除发育边界断层F1外,还发育1条或多条与F1同向的次级台阶断层^[13,14]。

根据走向可将断裂分为EW向、NE向和NW向3组;根据断裂规模和对地层的控制作用,可将断陷期的断裂分为3个级别,一级断裂控凹、二级断裂控区带、三级断裂控圈(局部构造),断裂呈分散状态遍布全凹。

一级断裂:图2中的F1—F4,用红色充填表示,F1即千里岩断裂,是整个南黄海北部坳陷的北边界,形成于印支期,是华北地台与下扬子地台拼合的构造边界,在燕山期和喜山期持续活动,呈NE走向,平面延伸距离达200km,断裂活动周期长、断距大,控制北凹沉积地层充填和构造演化。F3、F4活动期和规模仅次于F1、F2,平面上由西南往东北方

向延伸并与 F1 汇合,其倾向、倾角与 F1 相似,属于 持续型盆缘断裂,与 F1 共同控制北凹构造格局。

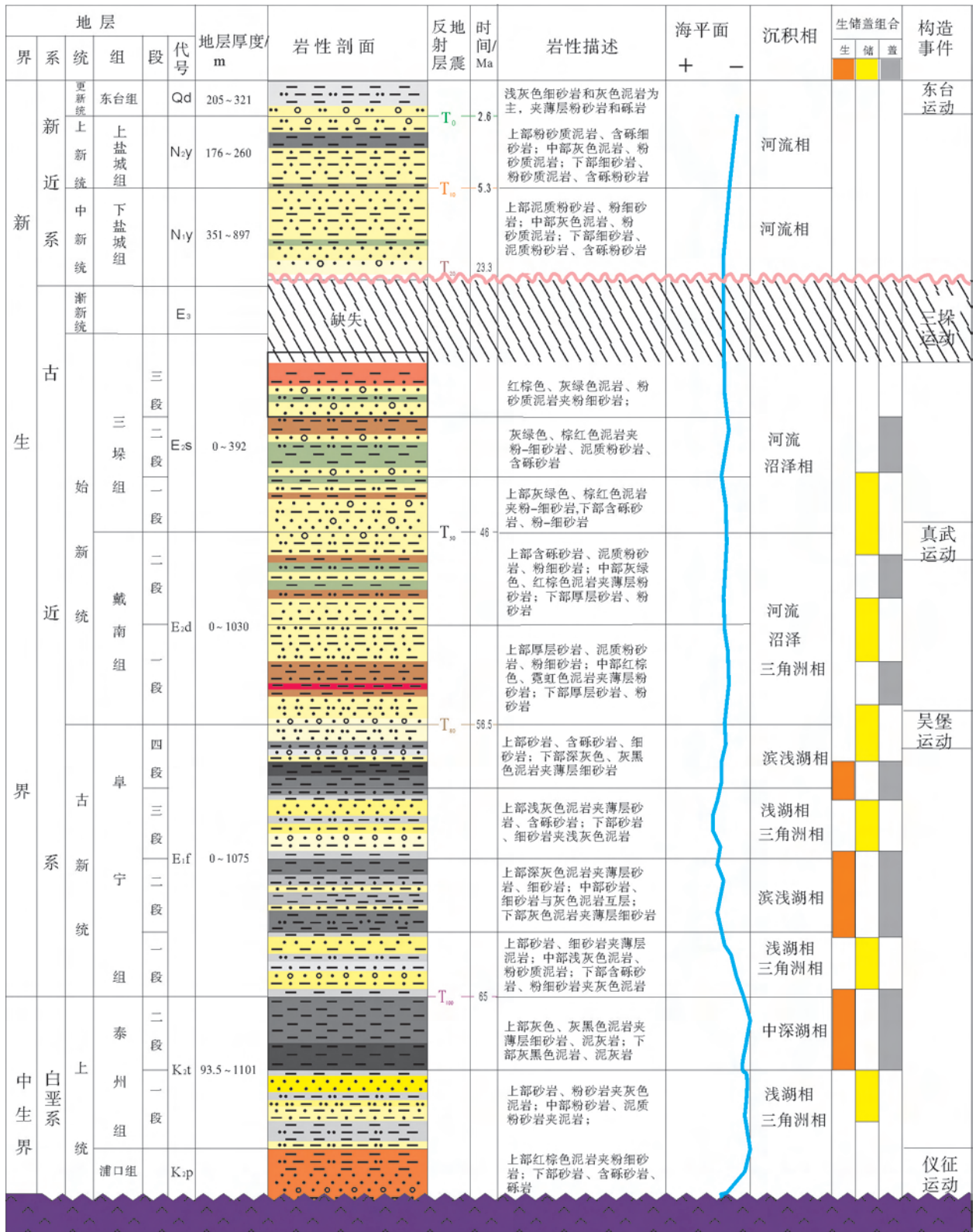


图 1 南黄海盆地北凹地层综合柱状图

Fig.1 Integrated stratigraphic column of the north sag in Northern Depression of the South Yellow Sea basin

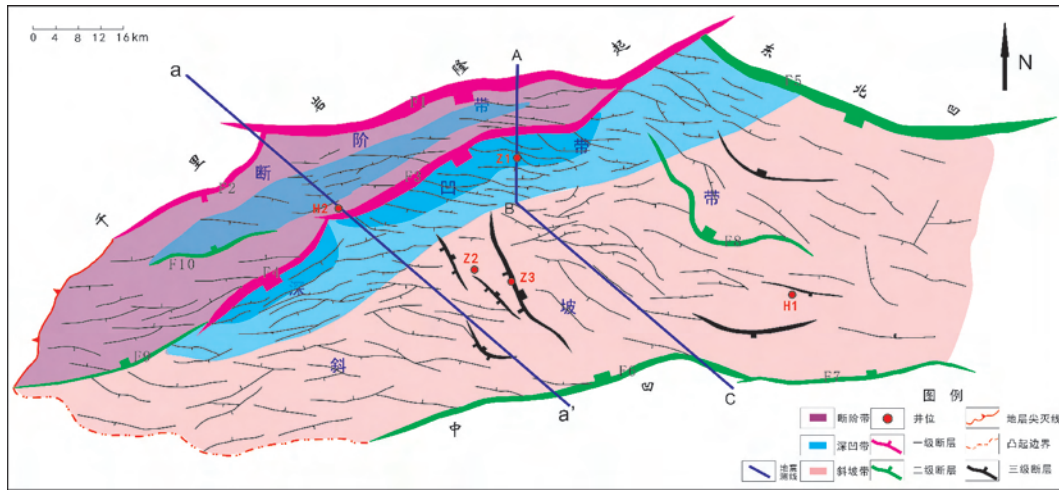


图2 南黄海盆地北凹次级构造单元划分及 T₈₀阜宁组顶面断裂平面图

Fig.2 A sketch map of secondary tectonic units and faults cutting through the top of Funing formation marked by T₈₀ in north sag of Northern Depression, South Yellow Sea basin

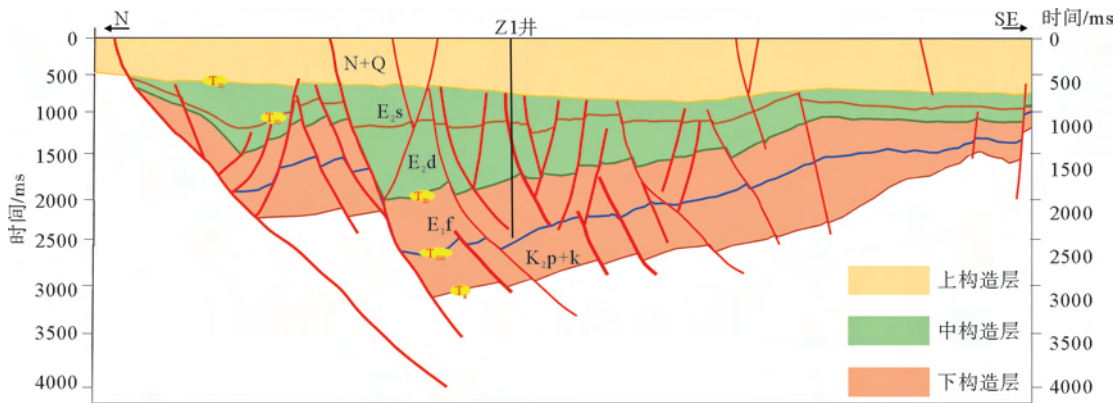


图3 南黄海盆地北凹构造层划分示意图(测线位置见图2中的ABC)

Fig.3 A sketch map of structural layer in north sag of Northern Depression of the South Yellow Sea basin(see fig.2 for profile location)

二级断裂:图2中的F5—F10,用绿色充填表示,将北凹切割成多个构造区带,规模较大,平面延伸达数十公里,活动周期较长,控制构造区带。F5是北凹与东北凹之间低凸起的分界,F6、F7是北凹与中凹之间低凸起的分界,F8、F10分别是凹陷内部进一步分割二级构造区带并形成次洼或断鼻构造带的断裂。

三级断裂:图2中用黑色表示的所有断裂,进一步分割各构造区带,使构造更复杂、断块更破碎,平面延伸距离短,断距小、数量多,分为EW、NE、NW 3组,对沉积无控制作用,平面上组合形成断块、断背斜、断鼻等多种类型圈闭。

2.2 断裂剖面组合特征

断裂剖面形态一般遵循板式—铲式—坡坪式的

演变规律,这种断裂演化的有序性受到岩石抗剪强度的非均一性、覆盖层压实作用和流体孔隙异常高压等非构造因素影响,同时受到构造应力场变化、断裂运动学性质变化等构造因素影响^[15]。南黄海北凹发育板式、铲式、坡坪式等多种样式断裂,剖面组合样式丰富(图4),F1、F3为规模最大的两条深入基底大断裂,F1为倾角上陡下缓的铲式正断裂,F3为分割断阶带和深凹带的大型板式正断裂,两条断裂断穿层位从基底、泰州组直至第四系,活动周期长,控制北凹结构和地层充填,使北凹呈北断南超、北深南浅的半地堑结构。在靠近F1、F3断裂处泰州组至三垛组厚度最大,往南则呈楔形并逐渐减薄,形成北部断阶带、中部深凹带、南部斜坡带3个构造区带。除少数几条逆断层外,其他二级、三级断裂基本为板式正断裂,部分断裂从晚白垩世、古近纪持续

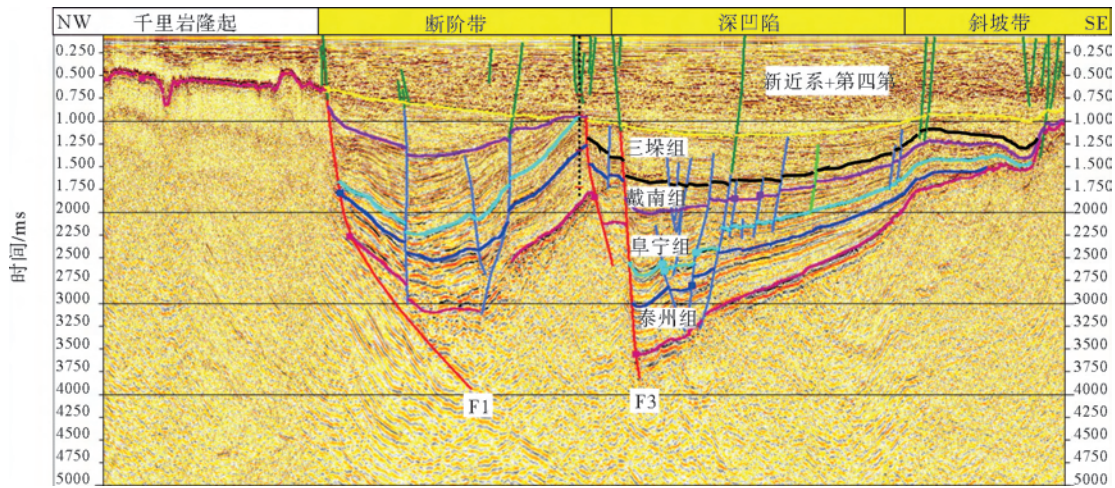


图 4 南黄海北凹典型地震剖面(测线位置见图 2 中的 aa')

Fig.4 Typical profile in north sag of Northern Depression of the South Yellow Sea Basin (see fig.2 for profile location)

活动至第四纪,浅层零星发育由第四纪新构造运动产生的小断裂。

北凹中、新生代盆地主要发育 12 种典型断裂剖面组合样式(图 5)。在整体 NE—SW 向拉张应力背景下,北凹伸展断陷盆地半地堑凹陷特征明显,非旋转平面式正断层最普遍,板式断裂两盘相对直移,多条断裂近乎平行呈阶梯式排列,断层产状、倾向基本一致,形似多米诺骨牌;其次为旋转曲面式、坡坪式断裂组合,所断开的岩层发生掀斜变形,上、下盘地层倾角和厚度差异大。但不同区域地质条件各不相同,断裂形成后的递进变形可造成产状和局部应力状态改变,断裂产生时的初始角度在不同深度的岩层中也有差异,在基底卷入的大型正断层控制下,

地层发生旋转变形或破裂,发育小型调节断层,形成 X 形共轭、旋转曲面断裂组合、同向 Y 形、反向 Y 形、反向反 Y 形、负花状构造等多种组合类型^[16]。

图 6 为多级复式 Y 形断裂组合,由多条不同级别、倾向相同的断层依次与上一级断层组合成反向反 Y 形,再与规模更大的断裂组成反向 Y 形,复合 Y 形断块整体发育于北凹中部滚动背斜构造带上,主干断裂为坡坪式基底断裂,反映出北凹在古近纪始新世-始新世构造运动剧烈,始新统戴南组、三垛组变形严重,断块、断背斜构造圈成群成带展布。图 7 为 X 形共轭断裂组合,不同级别、倾向相反、不同时期形成的多条断层交叉,后期发育的断层切割前期发育断层,形成 X 形组合,岩石力学实验证明受

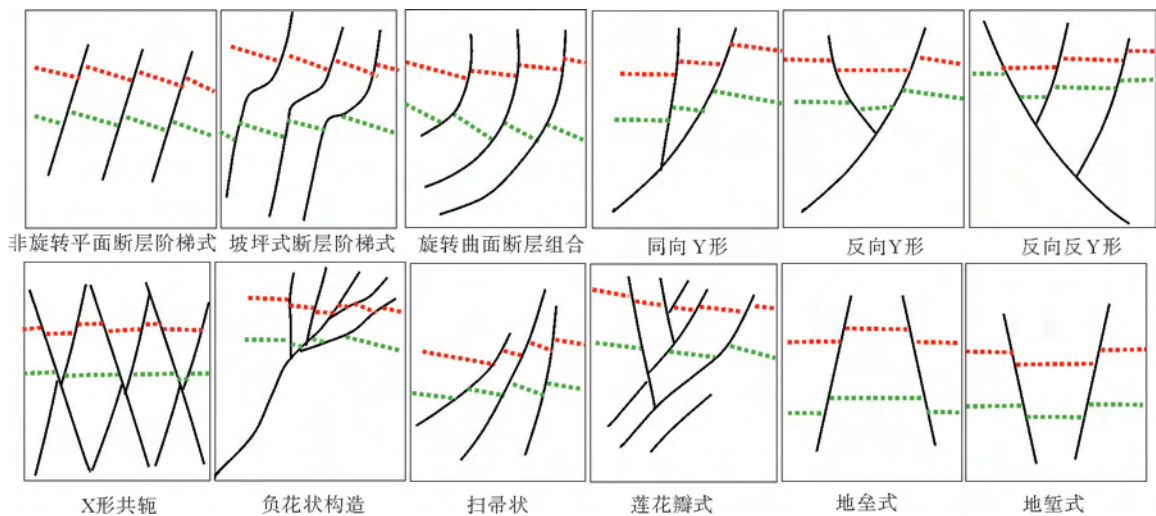


图 5 北凹断裂剖面组合样式图

Fig.5 Types of fault styles in the north sag

到垂直方向挤压应力或水平方向拉张应力可形成 X 形共轭,在应力持续作用下,断块不断发生破裂形成多个级别的共轭正断层,不同序次的正断层相互交错,剖面上部的地堑与下部的地垒相对应,在共轭断层交叉部位地层断失。图 8 为莲花瓣式断裂组合,断裂组合形似莲花,中央发育多级反向 Y 形、反向反 Y 形断裂组合,断裂规模大小不一,不同断块倾角差异大,外缘由两条规模较大的铲式或坡坪式断裂包围,发育于古近系阜宁组、戴南组、三垛组,形成于拉张应力作用,其下部主断裂深入基底,倾角大、断面陡,与更深部的拆离断层相交^[17]。

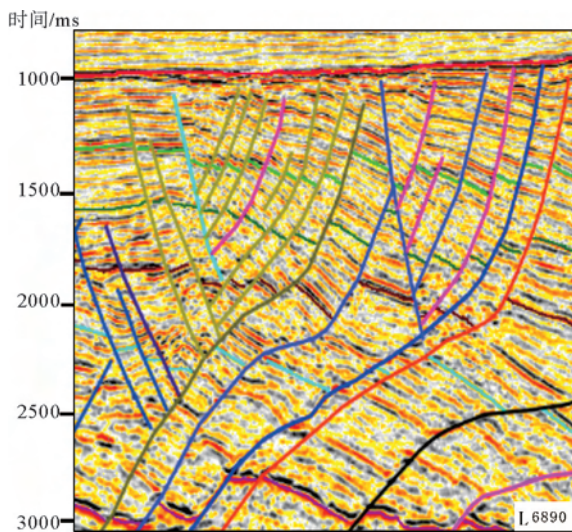


图 6 多级复式 Y 形断裂组合

Fig.6 Composition of multi-level Y-shape fault

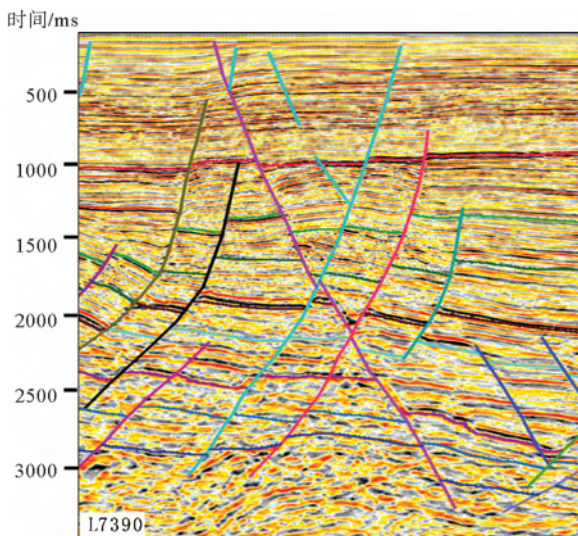


图 7 X 形共轭断裂组合

Fig.7 Composition of conjugated X-shape fault

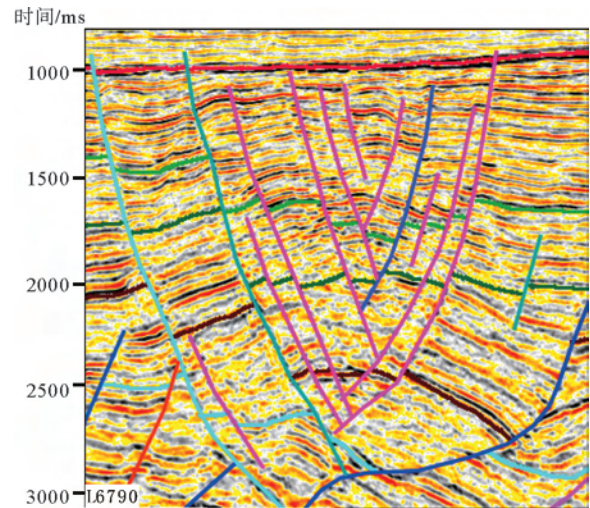


图 8 莲花瓣式断裂组合

Fig.8 Composition of lotus petal shape fault

2.3 断裂活动期次

从断裂发育和活动时间的角度,可将北凹断裂分为早期、中期、晚期断裂。

早期断裂发育于南黄海盆地形成早期,晚白垩世仪征运动时期开始活动,分为两类:一类在始新世末结束,后期又被激活,具有同沉积断层性质,平面延伸距离长、断距大,典型的如图 2 中的 F1、F3、F4、F6 等;另一类在晚白垩世或古新世结束活动,断距较小,平面延伸距离短,对沉积控制作用弱。

中期断裂在古新世末期吴堡运动、早始新世末期真武运动时期形成,属于非继承性断裂,在强烈拉张应力作用下形成,多数断层延伸距离较短,但数量多、密度大,有近 EW 向、NE 向和 NW 向三组,是主要目的层控圈断裂,对圈闭形成和油气运聚成藏影响最大。

晚期断裂形成于始新世末期及以后,发育在三垛组、盐城组和第四系,该时期构造活动不活跃,仅在千里岩大断裂下降盘和构造转换部位零星发育,平面延伸较短,断距小,晚期断裂向上贯通第四系乃至海底,对油气藏破坏作用较大^[18]。

2.4 断层活动速率

断层活动速率是某一地层单元在一定时期内,因断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值,即:

$$V_f = \Delta H / T = (H_d - H_u) / T \quad (1)$$

式中 V_f 为断层活动速率,单位为 m/Ma; T 为地层沉积时间,整套地层沉积时间取平均值或用生物化石确定,单位 Ma; H_d 为断层下降盘地层厚度,

H_u 为断层上升盘地层厚度,单位 m。

北部边界断裂(千里岩断裂 F1)长期持续活动,属于大型同生正断层,是规模最大的一级控凹断裂,选取过该断裂的 12 条垂直于凹陷走向的二维地震区域测线,分析千里岩断裂在生油层段 K_2t 泰州组二段和 E_1f_2 阜宁组二段沉积时期断层平均活动速率。

K_2t 上白垩统泰州组断层活动速率如图 9,该时期 F1 断裂活动速率基本在 100m/Ma 以上,最强的区域位于北凹中部,在测线 dys06-212 附近活动速率达到 480m/Ma,该区域对应湖盆最发育的地带,凹陷中部断层活动速率最强,断裂下降盘泰州组沉积地层厚度最大,为生烃深洼所在,凹陷东西两侧断层活动速率较低,地层厚度薄。

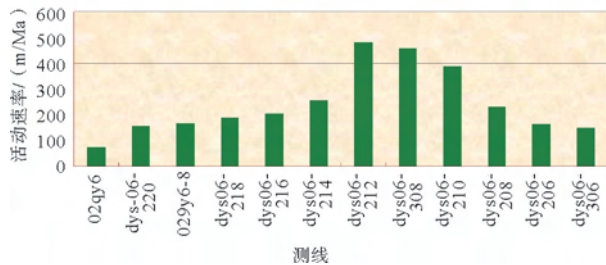


图 9 北凹泰州组断层活动速率柱状图
Fig.9 Fault activity rate distribution for Taizhou formation in north sag

E_1f_2 古新统阜宁组二段断层活动速率如图 10,断裂活动性强,活动速率基本大于 300m/Ma,在凹陷中西部活动速率最强,测线 dys06-308 处达到极大值,为 660m/Ma,往东西两侧活动速率逐渐变小,与泰州组情况类似,证实北凹边界断裂活动与其对沉降、生烃中心的控制作用具有良好的一致性。

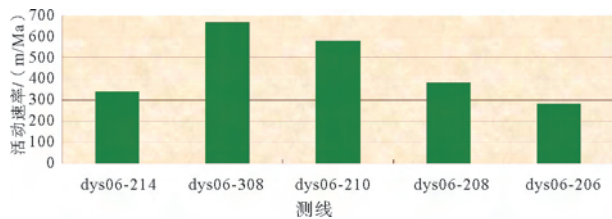


图 10 北凹阜宁组二段断层活动速率柱状图
Fig.10 Fault activity rate distribution for the second member of the Funing formation in north sag

可见北凹中部断层活动速率最大,盆地拉张沉降快,沉积厚度、规模较大,对应于北部断阶带、中部深凹带核心区,有利于形成稳定的负构造空间、欠补

偿的沉积环境,形成品质较好的烃源岩,在凹陷边缘、斜坡带则断裂活动较弱,地层较薄;断裂继承性发育,整体上 E_1f_2 古新统阜宁组二段沉积时期断层活动速率比 K_2t 上白垩统泰州组沉积时期更大,表明古新世是断陷湖盆发育最鼎盛时期,较大的断裂活动速率和快速沉降过程有利于沉积物快速堆积、深埋,在相对封闭的半地堑环境下更好地促进有机质成熟与排烃。

3 构造演化

自晚白垩世以来,南黄海盆地经历仪征、吴堡、真武、三垛 4 次大规模区域构造运动,控制新生代沉积演化、沉积体系建造及地层保存特征。受区域构造演化控制,北凹主要经历伸展张裂(断陷)、裂后拗陷两个演化阶段,其中伸展张裂阶段可分为高峰期和萎缩期^[19]。

晚白垩世-古新世是伸展张裂阶段高峰期,这一时期凹陷拉张率、沉降速率最大(图 11),在晚白垩世末中国东部近海伸展张裂构造运动背景下,仪征运动控制北凹断块活动,千里岩断裂持续高强度

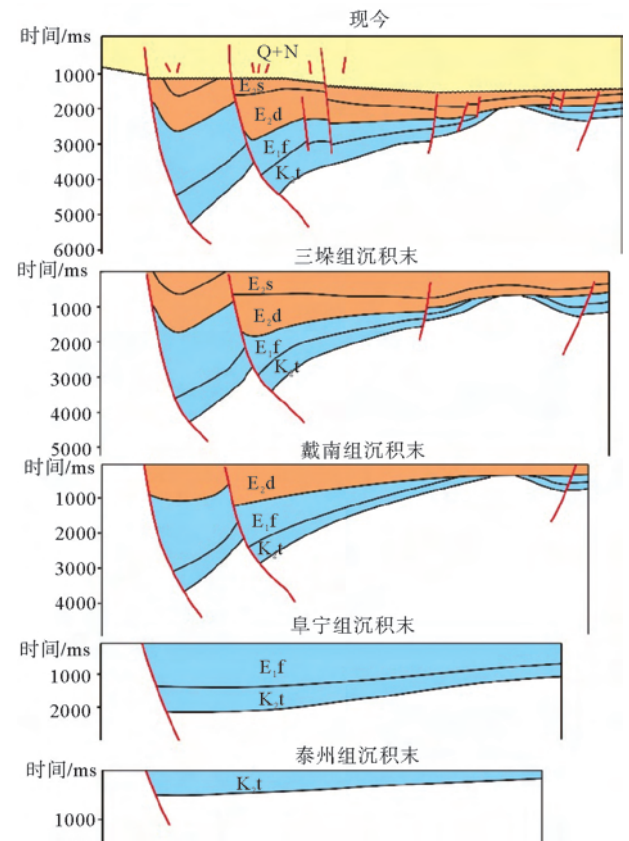


图 11 南黄海盆地北凹构造演化剖面
Fig.11 Tectonic evolution of north sag of Northern Depression of South Yellow Sea basin

活动,形成箕状盆地雏形,整体沉降湖泊—滨浅湖至半深湖沉积物。早期凹陷基底较平坦,古地貌呈现东高西低、北高南低的特征,晚白垩世泰州组开始沉积后,断裂活动加剧,沉降幅度增大,北凹逐渐变为广湖沉积,发育 K_2t 泰州组二段烃源岩。

古新世时期,在强烈拉张断陷作用背景下,北凹边界断裂持续活动,凹陷整体沉降接受古新统阜宁组沉积, E_1f_2 、 E_1f_4 沉积时期湖盆面积迅速扩大,水体大幅上升,控凹断裂仅控制沉积物厚度,并不影响沉积相,具有坳陷沉积特点。古新世末期,发生以翘倾为主的吴堡运动,凹陷东南部首先开始抬升,阜宁组地层大面积遭受剥蚀,泰州组也不同程度的受到剥蚀。随后盆地拉张整体沉降,南部边界断层和一系列补偿断层形成,广泛沉积始新统戴南组,其与阜宁组之间呈角度不整合接触关系。由于吴堡运动持续时间长,早期翘倾后期转变为挤压作用,抬升较高的地区地层遭到严重的风化剥蚀,低洼地区接受高部位的剥蚀残留物沉积^[20,21]。

始新世为伸展张裂阶段萎缩期,发育典型复式箕状断陷盆地,水体再次进入北凹, E_2d 下始新统戴南组开始沉积,发育湖泊—沼泽相、河流相及三角洲相碎屑沉积。早始新世末期,发生以左旋走滑为特征的真武运动,断裂活动剧烈,北断南超、北深南浅的复式箕状半地堑结构最终成型,形成北部断阶带、中部深凹带和南部斜坡带,随后盆地持续拉张沉降,发育大量的次级断裂,接受 E_2s 三垛组沉积。

晚始新世末期,发生以整体抬升和近水平挤压为主的三垛运动,由于渐新世时期太平洋板块 NWW 向俯冲作用增强,区域应力场性质发生变化,强烈挤压伴随着剪切走滑活动使北凹迅速抬升,在

凹陷南部形成鼻状构造带,局部发生构造反转,形成 NW 向褶皱逆冲构造带,产生大量中小规模的调节断层、变换断层,在北凹中部挤压出现几条规模较大的铲式逆冲断层。渐新统地层整体缺失。

中新世至今为裂后拗陷阶段,以整体热沉降为主,接受厚度较均匀的盐城组、第四系沉积,无大规模构造运动,凹陷西北部小幅隆升,构造最终定型^[22]。

4 有利勘探区带

通过以上分析,结合区域地质研究,预测南黄海北凹油气成藏模式具有近源近断、复杂断块成藏特点(图 12),两条最大规模的断裂控制凹陷生排烃和沉积、沉降中心,在箕状半地堑结构背景下,断阶带、深凹带密集发育的一系列二级、三级断裂成群成带展布,产生大量断块、断鼻型构造,深凹断阶带、深凹带低部位紧邻生烃中心,断层沟通油源、提供油气运移和充注通道。已钻井揭示泰州组二段、阜宁组二段和四段湖相泥岩是北凹主力烃源层段,深大断裂将烃源岩排出的油气与储层沟通,油气才能运移至圈闭中聚集成藏^[23]。

断阶带中部、深凹断鼻构造带是油气优势运移方向,上白垩统泰州组二段烃源岩从始新世末期进入大规模生排烃阶段,此时构造运动已结束,圈闭已成型,油气沿大断裂向上运移,遇到砂体及次级断层作短距离侧向运移,在泰州组一段、阜宁组一段、阜宁组三段和戴南组储集物性较好的圈闭中聚集成藏;古新统阜宁组二段、四段烃源岩从新近纪开始进入生烃高峰,所排出的油气沿断裂进入靠近生烃中

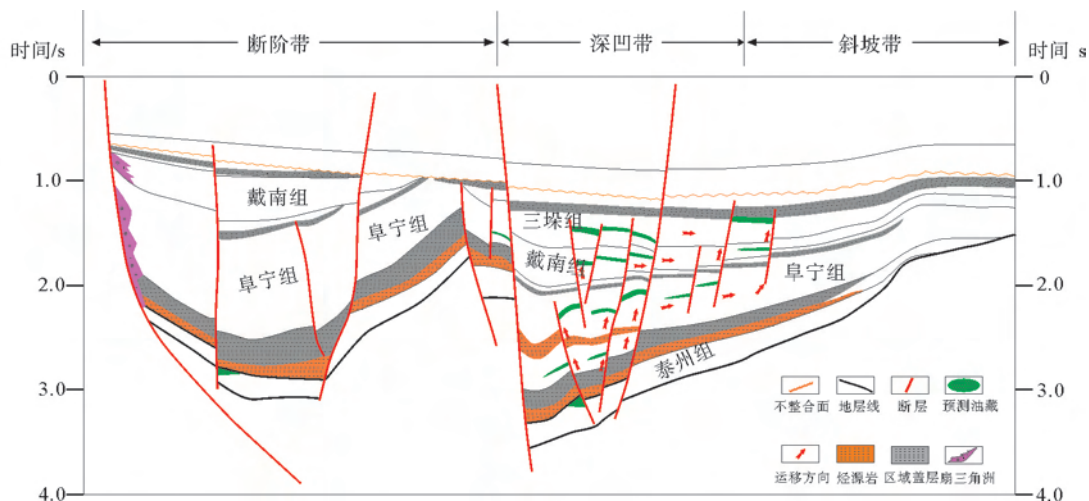


图 12 南黄海盆地北凹油气成藏模式预测图

Fig.12 Hydrocarbon accumulation model for north sag of Northern Depression of South Yellow Sea basin

心的构造圈闭;三垛组一段河漫滩泥岩是良好的区域盖层,戴南组一段中部、阜宁组四段泥岩作为局部盖层,预测北凹发育3套储盖组合,油藏纵向上可能呈层状分布,各自形成独立的油水系统^[24-26]。

5 结论

(1) 在南黄海盆地区域性构造运动事件控制下,北凹边界断裂(千里岩断裂)控制凹陷结构、断裂体系和地层充填,具有北断南超、北深南浅的复式箕状半地堑结构,可分为北部断阶带、中部深凹带和南部斜坡带;具有3期盆地叠合特征,发育白垩系上白垩统、古近系、新近系和第四系。

(2) 断裂以正断层为主,局部发育少量逆断层;发育仪征、吴堡、三垛3期和EW向、NE向、NW向3组走向断裂。受南黄海区域整体拉伸作用应力场控制,发育板式、铲式、坡坪式等多种类型和12种断裂组合样式。

(3) 构造演化经历晚白垩世—始新世伸展张裂和中新世以后裂后拗陷两个演化阶段,伸展张裂阶段可分为晚白垩世—早始新世高峰期和晚始新世萎缩期。

(4) 综合凹陷结构、断裂体系、构造演化史分析,预测北凹油气成藏具有近源近断、复杂断块成藏特点,深大断裂是油气运移和充注的关键因素,断阶带中部、深凹断鼻构造带是油气优势运移方向,靠近生烃中心的泰州组、阜宁组、戴南组断块和断鼻型构造圈闭是有望取得突破的重点目标。

参考文献 (References)

- [1] 吴德城,侯方辉.南黄海区域地质与地球物理调查研究进展[J].地球物理学进展,2017,32(6):2687-2696.[WU Decheng, HOU Fanghui. Survey and research progress in regional geology and geophysics of South Yellow Sea[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2017,32(6):2687-2696.]
- [2] 郑求根,蔡立国,丁文龙,等.黄海海域盆地的形成与演化[J].石油与天然气地质,2005,26(5):647-654.[ZHENG Qiugen, CAI Ligu, DING Wenlong, et al. Development and evolution of basins in Yellow Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 647-654.]
- [3] 廖晶,赵华,张伟,等.南黄海北部坳陷及周缘地区白垩纪以来构造研究进展[J].海洋地质前沿,2013,29(6):7-12.[LIAO Jing, ZHAO Hua, ZHANG Wei, et al. Progress of post-Cretaceous structure studies in the Northern Depressions, South Yellow Sea and adjacent areas[J]. Marine Geology Frontiers, 2013,29(6):7-12.]
- [4] 李楠.南黄海盆地北部坳陷构造演化及沉积相研究[D].山东青岛:中国海洋大学,2010.[LI Nan. Research on structural evolution and sedimentary facies in North Depression of South Yellow Sea basin[D]. Shandong Qingdao: Ocean University of China, 2010.]
- [5] 杨琦,陈红宇.苏北—南黄海盆地构造演化[J].石油实验地质,2003,25(增刊):562-565.[YANG Qi, CHEN Hongyu. Tectonic evolution of the north Jiangsu-South Yellow Sea basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(S0): 562-565.]
- [6] 李楠,李巍然,龙海燕.南黄海盆地北部坳陷正反转构造[J].海洋地质与第四纪地质,2013,33(3):95-100.[LI Nan, LI Weiran, LONG Haiyan. Study of positive inversion structures in the north depression of the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013,33(3):95-100.]
- [7] 王胜利,卢华复,李刚,等.南黄海盆地北部凹陷古近纪伸展断层转折褶皱作用[J].石油与天然气地质,2006,27(4):495-503.[WANG Shengli, LU Huaifu, LI Gang, et al. Paleogene extensional fault bend folding in north depression of southern Yellow Sea basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(4): 495-503.]
- [8] 王建强,孙晶,陈建文,等.南黄海盆地烟台坳陷构造样式及其特征[J].海洋地质前沿,2016,32(1):54-59.[WANG Jianqiang, SUN Jing, CHEN Jianwen, et al. The structural style and features of the Yantai Depression, South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016,32(1):54-59.]
- [9] 任艳,赵洪,邵宇蓝.南黄海盆地北部坳陷北凹构造特征与圈闭类型[J].石油地质与工程,2017,31(6):15-19.[REN Yan, ZHAO Hong, SHAO Yulan. Tectonic characteristics and trap styles in northern sag of northern depression in the south of Yellow Sea basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2017,31(6):15-19.]
- [10] 雷宝华,肖国林,张银国,等.南黄海盆地北部坳陷北部断阶带构造地质特征[J].海洋地质前沿,2014,30(7):41-45.[LEI Baohua, XIAO Guolin, ZHANG Yinguo, et al. Tectonic features of the northern fault zone of the northern sag of the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(7):41-45.]
- [11] 王建强,孙晶,肖国林,等.南黄海盆地构造特征及油气地质意义[J].海洋地质前沿,2014,30(10):34-39.[WANG Jianqiang, SUN Jing, XIAO Guolin, et al. Tectonic characteristics of the South Yellow Sea basin and implications for petroleum geology[J]. Marine Geology Frontiers, 2014,30(10):34-39.]
- [12] 高顺莉,徐曦,周祖翼.南黄海北部盆地晚白垩世以来构造变形与盆地成因[J].石油与天然气地质,2015,36(6):924-933.[GAO Shunli, XU Xi, ZHOU Zuyi. Structural deformation and genesis of the northern sub-basin in South Yellow Sea since late Cretaceous[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(6): 924-933.]
- [13] 祁鹏,王鹏,崔敏,等.南黄海盆地北凹多幕正反转构造特征及其动力学分析[J].现代地质,2017,31(3):443-449.[QI Peng, WANG Peng, CUI Min, et al. Tectonic characteristics and

- dynamical analysis of episodic positive inversion in the north sag of South Yellow Sea basin[J]. *Geoscience*, 2017, 31(3): 443-449.]
- [14] 侯方辉, 张志珣, 张训华, 等. 南黄海盆地地质演化及构造样式地震解释[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(5): 61-68. [HOU Fanghui, ZHANG Zhixun, ZHANG Xunhua, et al. Geologic evolution and tectonic styles in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28(5): 61-68.]
- [15] 漆家福, 夏义平, 杨桥. 油区构造解析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 25-64. [QI Jiafu, XIA Yiping, YANG Qiao. Analytical Tectonics of Plays [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 25-64.]
- [16] 王玺. 高邮凹陷主要断裂体系特征研究[D]. 山东东营: 中国石油大学(华东), 2011. [WANG Xi. Study on the characteristics of major fault systems in Gaoyou sag[D]. Shandong Dongying: China University of Petroleum(East China), 2011.]
- [17] 马金全, 李祥权, 许红. 南黄海北部盆地的断裂体系特征与形成机制[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(4): 11-17. [MA Jinquan, LI Xiangquan, XU Hong. Characteristics of the fault system in the northern South Yellow Sea basin and its forming mechanism[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(4): 11-17.]
- [18] 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 Xiaqun, WANG Zhangqing, et al. The fracture formation and its evolution from Upper Cretaceous to Cenozoic in Haian Depression[J]. *OGP*, 2009, 44(6): 760-766.]
- [19] 朱伟林, 米立军, 张厚和, 等. 中国海域含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 52-54. [ZHU Weilin, MI Lijun, ZHANG Houhe, et al. Atlas of Oil and Gas Basins, China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 52-54.]
- [20] 徐行, 姚永坚, 冯志强, 等. 南黄海北部构造演化的地球物理认识[J]. *地球物理学进展*, 2011, 26(4): 1266-1278. [XU Xing, YAO Yongjian, FENG Zhiqiang, et al. Geophysical cognition of tectonic evolution in the northern South Yellow Sea[J]. *Progress in Geophys*, 2011, 26(4): 1266-1278.]
- [21] 刘东鹰. 苏北—南黄海盆地的构造演化分析[J]. *石油天然气学报*, 2010, 32(6): 27-31. [LIU Dongying. Analysis on structural evolution of northern Jiangsu-South Yellow Sea basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2010, 32(6): 27-31.]
- [22] 白莹. 中国东部中、新生代盆地演化特征及构造迁移规律[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014. [BAI Ying. Evolution features and tectonic migration trends of the Mesozoic and Cenozoic basins in eastern China[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2014.]
- [23] 姚永坚, 夏斌, 冯志强, 等. 南黄海构造样式的特征与含油气性[J]. *地质论评*, 2004, 50(6): 633-638. [YAO Yongjian, XIA Bin, FENG Zhiqiang, et al. The characteristics of structural styles and hydrocarbon-bearing in the South Yellow Sea[J]. *Geological Review*, 2004, 50(6): 633-638.]
- [24] 朱平. 南黄海盆地北部凹陷含油气系统分析[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(6): 549-553. [ZHU Ping. Petroleum system analysis of the northern sag, the South Yellow Sea basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(6): 549-553.]
- [25] 王存武, 赵志刚, 王鹏, 等. 南黄海盆地北部坳陷北凹油气成藏特征的再认识[J]. *海洋石油*, 2014, 34(3): 40-45, 65. [WANG Cunwu, ZHAO Zhigang, WANG Peng, et al. New view on hydrocarbon accumulation characteristics of the north sag, Northern Depression of the South Yellow Sea basin[J]. *Offshore Oil*, 2014, 34(3): 40-45, 65.]
- [26] 张晶, 王伟锋. 南黄海盆地含油气系统与油气勘探方向[J]. *海洋地质动态*, 2004, 20(4): 20-23. [ZHANG Jing, WANG Weifeng. Petroliferous systems and petroleum exploration targets in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Letters*, 2004, 20(4): 20-23.]