

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.03.004

印支运动以来南黄海盆地的构造变形与演化

雷宝华^{1,2,3}, 陈建文^{1,2,3}, 梁杰^{1,2,3}, 张银国^{1,2,3}, 李刚¹

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071

3. 自然资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071

摘要: 基于南黄海盆地历年来的地震资料解释成果和下扬子海陆对比, 分析了南黄海盆地印支期以来的主要构造变形特征。认为其构造变形主要有3期: 晚印支-早燕山期的前陆变形、燕山中期黄桥事件的转换变形和喜马拉雅晚期三垛事件的断拗变形。并控制前陆、断陷和拗陷3期盆地的形成。盆地演化经历了挤压褶皱、碰撞造山、压、张脉动和走滑, 拉张块断和反转, 挤压收敛等发展过程。盆地构造变形机制主要受扬子和华北板块漂移碰撞、古太平洋板块活动特征和大型走滑断裂应力环境等影响。南黄海盆地构造变形具有规律性: 平面上, 以 NE、NEE、近 EW、NW 向为主。从西往东, 构造的走向为 NEE 向→近 EW 向→NW 向; 从北往南, 构造变形具有强→弱→强特征和分带性, 构造的走向为 NEE 向→近 EW 向。纵向上, 海-陆相盆地活动展示了早期褶皱逆冲和晚期伸展断陷的“跷跷板”变形格局, 并具有早期“北强南弱的不均衡对冲”和晚期“北深南浅断陷”的构造格局。海相盆地上构造层比海相下构造层冲断变形强。崂山隆起南部的高石稳定带为南北不均衡对冲的弱变形区和应力释放区, 中-古生界受后期改造作用较弱, 是油气勘探的有利地区。

关键词: 构造变形; 印支运动; 构造演化; 南黄海盆地

中图分类号: P736.1 **文献标识码:** A

Tectonic deformation and evolution of the South Yellow Sea basin since Indosinian movement

LEI Baohua^{1,2,3}, CHEN Jianwen^{1,2,3}, LIANG Jie^{1,2,3}, ZHANG Yinguo^{1,2,3}, LI Gang¹

1. Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China

2. Laboratory for Marine Mineral Resource, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

3. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266071, China

Abstract: Tectonic deformation of the South Yellow Sea basin since the Indosinian tectonic movement is studied in this paper based on the seismic data over the past years and the correlation between the sea and land areas of the Lower Yangtze platform. There are three stages of tectonic deformation in the South Yellow Sea since the Indosinian. The first stage from late Indosinian to early Yanshanian is dominated by foreland deformation including both the uplifting and subsidence under an intensive compression environment. The second stage which is called the Huangqiao Event in the middle Yanshanian, is dominated by transform deformation, suggesting a change of stress field from extrusion to extension. In the third stage or the Sanduo Event in the late Himalayan, however, the deformation was changed from the late Cretaceous-Paleogene stretching rifting to the Neogene-Quaternary depression. During the process, it controlled 3 stages basin formation from a foreland to fault and depression basin. In conclusion, since the Indosinian, the South Yellow Sea basin has experienced deformations of compressional folding and faulting, collisional mountain-building, compressional and tensional pulsation, strike-slipping, block extension and inversion, compression and convergence. Structures in NE, NEE, nearly EW and NW directions coexist. From west to east, they change directions from NEE to near EW to NW, while from north to south they change from NEE to near EW in a zonal pattern from strong to weak to strong. Vertically, the marine and terrestrial basins alternate in a “see-saw” pattern with fold thrusts in early stage, which is stronger in north and weaker in south and extension rifts in later stage, which is stronger in north and weaker in south. In marine basins, stronger thrusting deformation is more popular in upper

资助项目: 自然资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金“北黄海盆地东部拗陷致密储层构造裂缝预测”(MRE201316); 国家地质调查专项“南黄海油气资源调查”(DD20160512); 国家地质调查专项“南黄海海域油气资源普查”(GZH200800503)

作者简介: 雷宝华(1984—), 男, 助理研究员, 主要从事地震资料解释、石油构造分析和海洋油气地质方面的研究工作, E-mail: manoil@163.com

通讯作者: 陈建文(1965—), 男, 研究员, 主要从事海域油气资源调查评价与研究, E-mail: jwchen2012@126.com

收稿日期: 2018-01-19; **改回日期:** 2018-04-11. 蔡秋蓉编辑

structural layer than that in the lower layer. The tectonic deformation mechanism in the South Yellow Sea basin is mainly affected by the drift collision between the Yangtze and North China blocks, and the stress environment of large-scale strike-slip faults owing to activities of the Paleo-Pacific plate. The southern part of the Laoshan uplift is a weak deformation zone as well as a stress release zone, and the Meso-Paleozoic reform is weak in later stage. It is believed, therefore, a favorable area for oil and gas exploration.

Key words: structural deformation; Indosinian movement; tectonic evolution; South Yellow Sea basin

发生在晚二叠世—晚三叠世的印支运动是中国地质发展史上的一个重大转折,也是中国大陆发生大规模碰撞拼合的时期^[1],秦岭-大别-苏鲁造山带的形成标志着扬子-华北板块俯冲碰撞的结束。印支运动也是下扬子地区古生代以来最强烈的构造运动,它从根本上改变了古生代盆地的发展趋向,使早期的盆地原型受到不同程度的改造^[2-4]。南黄海盆地在印支运动之前为中-古生代海相沉积盆地,印支运动之后,海相盆地的沉积体制被瓦解,发生褶皱变形和逆冲错断,并以此作为中-新生代陆相盆地的基底,断裂的复活控制了新的裂陷盆地范围和次级构造单元的分布。因此,对印支运动以来南黄海盆地的变形与演化研究尤为必要。

近十年来,继南黄海古近系油气前景研究和南黄海油气资源调查等区域地质调查项目的开展,在南黄海基底结构^[5-7]、盆地构造演化^[8-11]、构造变形^[12-14]和地层发育^[15-17]等方面取得了许多重要的认识。因印支运动以来南黄海盆地成盆动力背景复杂,构造的叠加改造、地层的褶皱变形和不同性质及规模的断裂极为发育,导致对盆地的构造变形和构造演化方面的研究仍不够深入。本文在前人认识的基础上,结合下扬子陆区变形期次和特征,根据近年来新的地球物理和地质资料,对南黄海盆地印支运动以来的构造变形期次与强度、变形样式、应力方向与性质、变形格局、变形机制和盆地演化进行了分析和探讨。这将对加深南黄海盆地的地质认识和寻找有利油气勘探区具有一定的指导意义。

1 基础地质概况

苏北-南黄海盆地位于下扬子地台东北部,北部为苏鲁-千里岩隆起区,南部为苏南-勿南沙隆起区,西以郯庐断裂为界,东邻朝鲜半岛。陆域称之为苏北盆地,海域称之为南黄海盆地。南黄海盆地不仅是扬子地台在海域的延伸,而且是下扬子地块的主体^[18],也是一个多旋回叠合盆地^[7, 19, 20]。根据地层沉积展布特征、构造变形样式、地层保存状况,南黄海中-新生代陆相沉积盆地具有“两坳夹一隆”的构

造格局,自北向南分别为烟台坳陷(北部坳陷)、崂山隆起(中部隆起)和青岛坳陷(南部坳陷)^[17](图1)。盆地以北为千里岩隆起区,盆地以南为勿南沙隆起区。中-古生代海相盆地为残留改造盆地,由北往南可划分为烟台冲断带、崂山断隆带、青岛断褶带和勿南沙隆褶带。

南黄海盆地经历了中元古代末的四堡运动和新元古代晋宁运动的固结回返,形成了前南华纪褶皱变质岩结晶基底结构^[12]。自南华纪以来,南黄海盆地作为扬子地台的一部分,经历了加里东、海西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造旋回。主要经历了4个沉积盆地演化阶段:古生代-早中生代稳定克拉通和地台、中中生代前陆盆地、晚中生代-古近系断陷盆地和新近系以来的坳陷盆地^[8, 10, 11, 21];6个重要的构造发育阶段:加里东期整体隆升阶段(广西运动)、海西期短暂弱抬升阶段(东吴运动)、印支期-燕山早期强烈回返阶段、燕山中期黄桥运动压张转换阶段和喜马拉雅晚期三垛运动的断拗转换阶段。自下而上,盆地发育较完整的海相震旦系-中下三叠统、陆相中上三叠统-第四系沉积,地层总厚度超过万米。

2 南黄海盆地构造变形

根据对区域构造运动背景的认识,南华纪以来的加里东旋回和海西旋回对南黄海中-古生界海相盆地的影响相对较弱。印支运动则是对本区中-古生界影响最为强烈的一次运动,造成全区海相地层的大面积断褶变形和剥蚀,处于板块碰撞带前缘的烟台冲断带剥蚀尤其强烈。南黄海盆地以印支面为界,总体经历了从海相到陆相环境的转换,可以划分为两大构造层。下部海相中-古生界以挤压变形为主,逆断裂体系发育;上部陆相中-新生界沉积期处于拉张应力环境,发育正断裂。在区域应力场背景下,亦有着局部构造异常现象,根据地震剖面分析和下扬子海陆对比,南黄海盆地在燕山中期(黄桥转换事件)和喜马拉雅晚期(三垛运动)存在褶皱回返过程,使局部区域发生明显的隆凹转换。另外,在崂山

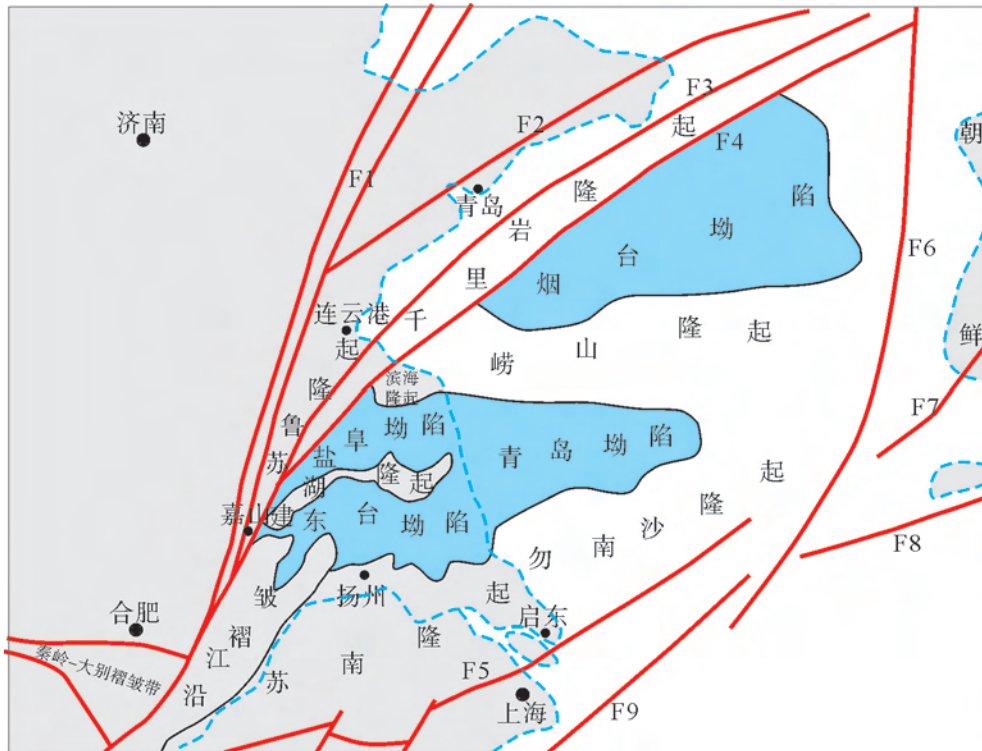


图 1 苏北—南黄海盆地及其周边主要构造单元简图(据文献[22, 23])

F1: 郯庐断裂带; F2: 五莲-青岛-蓉城断裂; F3: 连云港-千里岩断裂; F4: 嘉山-响水断裂; F5: 苏州-昆山断裂; F6: 朝鲜西部断裂;
F7: Honam 断裂; F8: 济州岛南缘断裂; F9: 江(山)绍(兴)断裂

Fig.1 Tectonic map of Subei- South Yellow Sea basin and its surrounding areas

隆起稳定区,由于受到中-新生代拉张作用的影响,上古生界浅层正断裂发育,与早期逆断裂体系共存。

2.1 主要变形的期次与强度

南黄海盆地海相中古生界经过印支运动的重大转折和变形之后,中-新生代以来主要经历了燕山旋回的燕山运动 I、II 和 III 幕,黄桥运动(燕山运动 IV)、仪征运动(燕山运动 V);喜马拉雅旋回的吴堡运动、真武运动、三垛运动、盐城运动和东台运动(表 1)。其中,改变了盆地的性质的 3 期最为重要的变形事件是:使海相地层开始回返的金子事件、前陆挤压结束的黄桥转换事件和断陷隆升结束的三垛事件。这 3 期事件依次将稳定的海相盆地开始瓦解形成前陆盆地、压张格局转换形成断陷盆地、断拗转折形成拗陷盆地。

印支早期金子运动:南黄海盆地由稳定地台进入前陆挤压变形阶段。金子运动是印支运动的初幕,表现为一次重要的抬升运动,象山运动是印支运动进一步加强的褶皱运动。印支运动主要表现为一场挤压隆升运动,造成了下扬子地区大型的近 EW 向隆起和拗陷。紧随印支运动之后的早燕山运动,

是一场规模宏伟的陆内造山运动。该运动延续至中侏罗世,在南黄海地区形成一系列褶皱和断裂,最显著的特征是沿 NW—SE 方向的大型逆冲推覆和冲断构造,盆地近 NE、EW 向逆断层也与本时期华北-华南板块硬碰撞后的挤压有关,且构成盆内中-古生界的主要断裂体系^[24]。

在南黄海盆地,目前对印支运动和早燕山运动二者尚难剥离开^[25],南黄海盆地海相中-古生界褶皱造山作用主要发生在这一时期。印支-燕山早期以挤压应力为主形成一系列褶皱和断裂,并以由北往南的逆冲推覆作用为主导。主要断裂以北倾为主,主要分布在烟台拗陷区和崂山隆起北部,由北向南的逆冲推覆,形成一系列叠瓦状逆冲推覆带。南倾断裂主要分布在青岛拗陷区,由于华南造山带由南向北逆冲挤压,形成由南向北的逆冲推覆。崂山隆起处于下扬子地台构造对冲平衡区和沉积相对稳定区,理论上从震旦系—三叠系各套地层发育齐全,但该期构造活动强烈,使下扬子地区沉积盖层形成广泛的褶皱体系,也使得崂山隆起及其以北地区的下三叠统青龙组—上二叠统龙潭组甚至上古生界遭受不同程度的剥蚀^[26]。

表1 南黄海盆地印支以来构造事件和演化阶段划分

Table 1 Tectonic events and evolution stages of the South Yellow Sea basin since the Indosinian movement

界	系	统	地层		地震反射面	年龄 /Ma	构造旋回划分			构造发展阶段	构造层	主要地质事件			
			组	代号			构造事件	构造运动	旋回						
新生代	第四系	全新统	东台组	Q				东台运动	喜马拉雅旋回	滨太平洋大陆边缘活动带发展阶段	拗陷构造层	陆内再造山阶段			
		更新统				2.58	东台事件 (喜马拉雅V幕)								
		上新统	上盐城组	N _{2y}	5.33	盐城事件 (喜马拉雅IV幕)	盐城运动								
	新近系	中新统	下盐城组	N _{1y}	T ₂	23.03	三垛事件 (喜马拉雅III幕)	三垛运动							
		渐新统				33.9									
	古近系	始新统	三垛组	E _{2s}		47.8	真武事件 (喜马拉雅II幕)	真武运动							
			戴南组	E _{2d}		55.0	吴堡事件 (喜马拉雅I幕)	吴堡运动							
		古新统	阜宁组	E _{1f}	T ₄	66.0									
	中生界	白垩系	上统	泰州组	K _{2t}	T ₇	83.6	仪征事件 (燕山V幕)			仪征运动	燕山晚印支旋回		断陷构造层	陆内伸展阶段
				赤山组	K _{2c}	T ₇₁	89.8								
			浦口组	K _{2p}	T ₇₂	100.5	黄桥事件 (燕山IV幕)	燕山运动中期							
		下统	葛村组	K _{2g}		145.0	燕山III幕	燕山运动早期							
侏罗系		上统	火山岩系	J ₃		157.3	燕山II幕	燕山运动早期							
			西横山组	J _{2x}		163.5	燕山I幕	印支运动晚期							
		中下统	象山群	J _{1-2x}		201.3	南象事件 (印支II幕)								
三叠系		上统	范家塘组	T _{3f}		237									
		中统	黄马青组	T _{3h}	T ₈	242	金子事件 (印支I幕)								
			周冲村组	T _{3z}		247.2									
	下统	青龙组	T _{3q}	T ₉	252.17										
二叠系	上统	大隆组	P _{2d}				印支运动早期	早印支旋回	板内活动阶段	海相上构造层	再伸展、聚段 再造山阶段				
		龙潭组	P _{2l}	T ₁₀		东吴运动 (海西运动)									

燕山中期黄桥运动:南黄海盆地由陆内挤压前陆造山进入陆内伸展阶段,使全区构造格局发生了前、后性质相反的变格。早期挤压逆冲断层因伸展作用而发生一定程度的反转和回滑,加上新生的正断层,共同控制了盆地断陷沉积结构^[24]。南黄海盆地北部和南部挤压构造带先后进入拉张断陷或重力回滑发育阶段,而崂山隆起继续隆升剥蚀并在其南、北缘发育控拗断裂,白垩系与下伏地层呈大范围角度不整合接触。晚燕山末期仪征运动之后,南黄海盆地“两拗夹一隆”格局基本形成。

喜马拉雅晚期三垛运动:喜马拉雅晚期,下扬子地区发生于渐新世和中新世之间的三垛运动,是一场影响较大的区域性的褶皱造山运动。该运动使渐新统及以下地层发生显著的抬升剥蚀,新近系与下伏地层呈角度不整合接触。经过三垛运动之后,南黄海盆地性质又发生了变化,结束了断陷盆地发育的历史,并进入拗陷盆地发育阶段^[25, 26]。

2.2 变形的样式

南黄海盆地发育过程中,主要经历了由挤压应力场到拉张应力场的转换,期间还存在短暂时期的褶皱回返,不同应力场的叠加,使南黄海盆地发育了

类型丰富的构造样式和构造组合^[27]。南黄海盆地存在挤压与拉张应力场下的基本构造样式,它们从形成机理上可以归结为4大类构造样式:挤压收缩构造样式^[28];拉张伸展构造样式^[29];反转构造样式^[12, 30, 31];走滑(张扭或压扭)构造样式^[29, 32]。前人对这些构造样式做了不同程度的总结,本文主要对研究程度较低的挤压收缩构造样式作进一步补充说明。

南黄海盆地挤压收缩构造样式主要由宽缓褶皱和断层相关褶皱(如断弯褶皱、叠瓦构造、断裂对冲或背冲)组成的构造样式(图2)。在南黄海盆地A-A'测线地震地质解释剖面上(图3),陆相中古生界之下主要表现为挤压收缩构造样式。其中,向斜构造易形成于高角度断裂以及背冲断裂之间,背斜构造易形成于低角度以及对冲断层之间。局部褶皱变形明显受控于断裂作用,这种构造样式很可能是受断块式变形作用影响。苏北-南黄海地区前白垩纪构造变形是盖层拆离构造还是基底卷入的断褶构造,既与挤压构造强度有关,又与滑脱层厚薄及所处构造部位有关。在强烈挤压变形区、滑脱层较薄和向斜的核部,难以形成大规模滑脱推覆体。

构造样式与构造形态复杂多样,具有明显的分

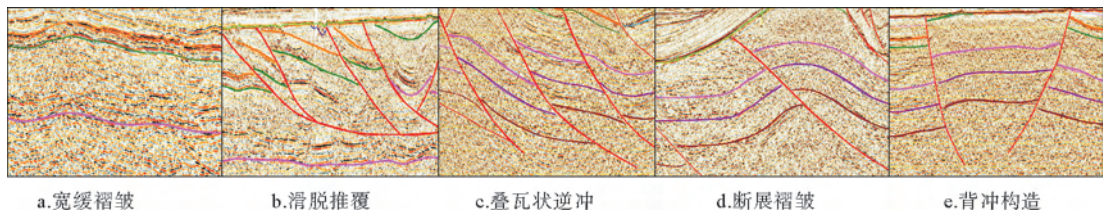


图 2 南黄海盆地典型的挤压构造样式

Fig.2 Typical compressional structure styles in the South Yellow Sea basin

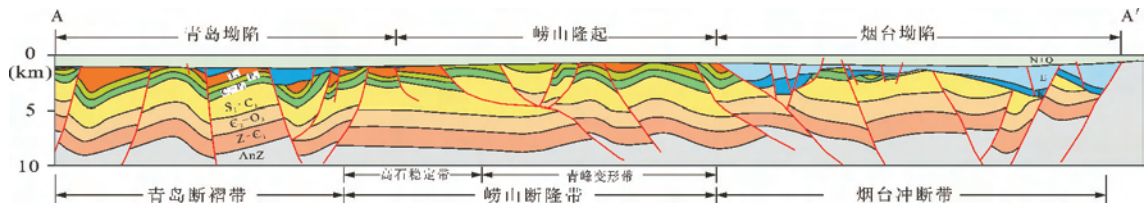


图 3 南黄海盆地 A-A'地质剖面(剖面位置如图 4)

Fig.3 The A-A' geological section of the South Yellow Sea basin

带性。南黄海盆地在印支运动晚期,受华南造山带向北移、挤压影响,产生由南往北的挤压作用力;下扬子北部前缘与华北板块发生硬碰撞,产生由北往南的强烈反作用力。南黄海盆地的南部和北部,在这种不均衡的相向挤压作用力下,形成复杂而又具有区带个性的构造样式和构造形态。其中,烟台冲断带内主要表现为基底卷入式逆冲特征,地层呈现高角度掀斜,构造形态以平行逆冲断块为主;崂山断隆带北部主要表现为盖层滑脱型褶皱-逆冲特征,叠瓦状结构形态,南部则为弱变形构造特征,发育较完整的宽缓背斜或断鼻构造;青岛断褶带内多发育一些由南往北的逆冲断层,形成一些复式褶曲或推覆构造。

2.3 变形的方向和性质

下扬子地块构造十分复杂,主要发育近 EW、NE、NNE 和 NW 走向构造组成的断裂-褶皱构造系统。西北部,主要发育 NNE 和 NE 走向的断裂-褶皱,以及 NW 向走滑或调节断层,由西向东构造线逐渐转为 NEE、近 EW 和 NW 走向。

南黄海盆地断裂系统走向与盆地二级构造单元的展布方向基本一致(图 4)。盆内 NE、NEE 走向构造,往往切割或受限于前侏罗纪近 EW 走向构造之上,说明近 EW 走向构造形成较早,可能主要形成于印支期或更早,而 NE 和 NEE 走向则形成于印支期以后。早期 NW、NWW 走向的断裂系统主要分布在盆地的东部^[6],可能与朝鲜西缘断裂^[27]的走滑有关;而喜马拉雅晚期少量 NNW 走向的逆断层

主要分布在烟台坳陷,与新近纪以来的局部压扭有关。

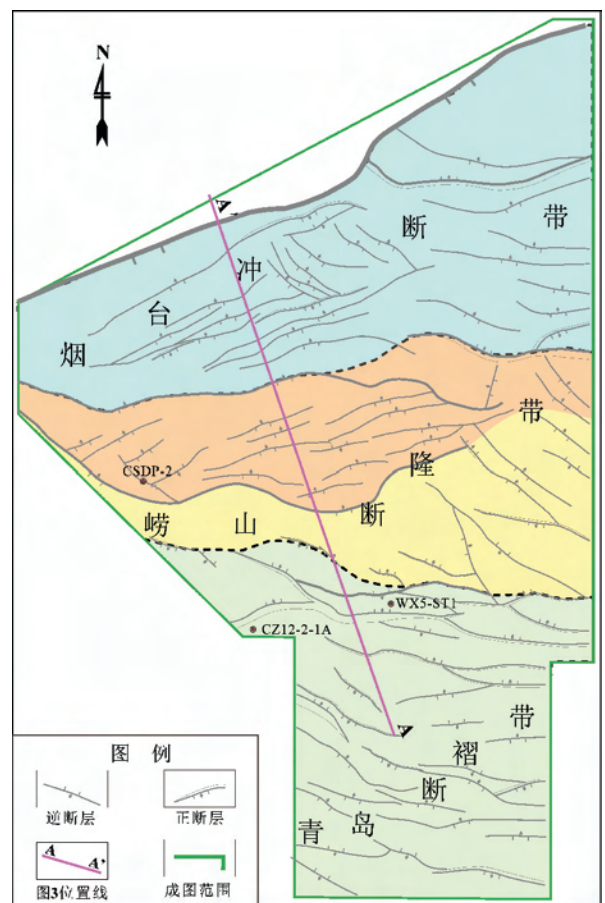


图 4 南黄海盆地古生代主要断裂分布图

Fig.4 Distribution of major Paleozoic faults in the South Yellow Sea basin

平面上主要存在两大扭向：一是从北往南，断裂系统主体方向由 NEE 或 NE 逐步转向近 EW 走向；二是从西往东，断裂系统由 NE 或 NEE 向扭转为近 EW 向或 NW 向，呈现较明显的右旋扭动现象。南黄海盆地这种断裂方向的变化，分别受下扬子板块碰撞边界、邻近板块应力场传递、郯庐走滑断裂和朝鲜西部走滑断裂等影响。

控制中-新生界沉积深凹的边界断裂大多数由早期逆断裂反转形成。一方面说明拉张应力的释放具有选择性，早期逆断裂形成的地层破碎面往往成为再次活动的重要方向；另一方面，根据力的平衡原理，早期逆冲比较强烈的地区，重力回滑作用可能越强，导致局部反转形成深凹。

因此，盆地断裂-褶皱构造系统，平面上以 NE、NEE、近 EW、NW 向为主，断裂-褶皱方向的变化受碰撞边界、邻近板块和大型走滑断裂影响。从西往东，断裂的走向变化特征为：NEE 向→近 EW 向→NW 向；从北往南，断裂的走向变化特征为：NEE 向→近 EW 向，断裂的活动强度南北变化特征为：强→弱→强，南北构造变形具有分带特征。剖面上，下部挤压褶皱、上部拉张断陷，断裂下逆上正。

2.4 总体变形格局

中三叠世末期，由于扬子地块和华北地块之间的拼接和碰撞，一方面造成了苏鲁造山带的形成，另一方面使得下扬子地块(包括南黄海地区)形成宽缓隆起和坳陷。燕山早期，随着扬子地块与华北地块碰撞挤压作用的增强，秦岭-苏鲁造山带和华南造山

带从南、北两侧向下扬子地块持续推进，下扬子地块形成不同强度的冲断构造、推覆构造和对冲构造格局。

在这些逆冲挤压构造中，北部的逆冲作用由北向南，规模较大，活动性较强；南部的逆冲作用由南向北，规模和强度次之。而中部的崂山隆起推覆构造不甚发育，而且处于对冲构造部位，亦显示了南黄海中部地区处于构造的稳定部位。

由于印支-早燕山期，扬子板块向北与华北板块碰撞，使得扬子板块北部前缘受到强烈的挤压应力，形成大量的向北倾冲断断层，这些断层构成了北部的烟台冲断构造带。在南部，挤压应力相对较弱，在由南向北的挤压应力作用下，地层褶皱变形，并发生相对小断距错断，主要形成一些向南倾的断层，构成南部的青岛断褶带。而在南北对冲的崂山隆起区，却是挤压应力的释放区，使得总体挤压应力较弱。同时，由于挤压应力的不平衡作用，使得崂山隆起北部挤压应力较崂山隆起南部强，形成了崂山隆起北部滑脱构造区域和崂山隆起南部稳定构造区域，即青峰变形带和高石稳定带(图 3)。从而，南黄海盆地海相中-古生界，构成“南北不平衡对冲”的总体构造解释模式(图 5)。

从印支期到喜马拉雅期，区域应力场总体由挤压转变为拉张，盆地南北结构从挤压隆升转换为拉张断陷，海-陆相盆地活动构成“跷跷板”升降结构。在烟台坳陷区：印支期碰撞挤压冲断，地层剥蚀强烈，断层卷入基底，北倾、倾角大、数量多，喜马拉雅期大幅拉张沉降。在崂山隆起区：印支期碰撞挤压

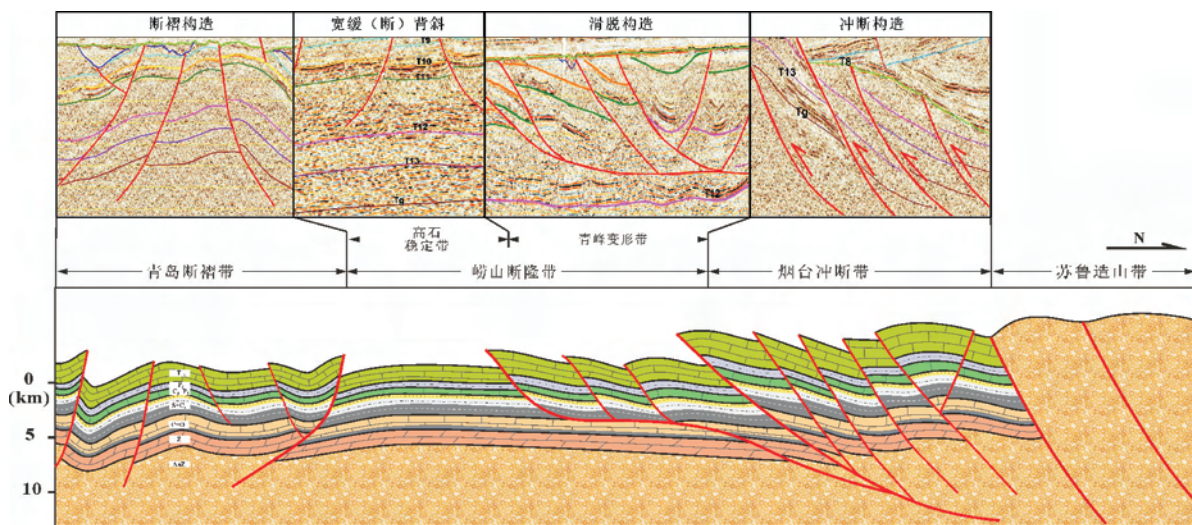


图 5 “南北不平衡对冲”构造模式
Fig. 5 The structures of “North-South imbalance ramping”

推隆,剥蚀中等,盖层断裂滑脱推覆,喜马拉雅期拉张沉降幅度弱。在青岛坳陷区:印支期挤压断褶和剥蚀较弱,断层基底卷入、南倾、数量不多,喜马拉雅期拉张沉降幅度不大。断陷度北部烟台坳陷深、南部青岛坳陷浅(图 3)。

因此,南黄海海相中生界具有“南北不均衡对冲”模式,海-陆相盆地活动构成“跷跷板”升降结构,陆相中-新生界具有“北深南浅断陷”的变形格局。

2.5 变形机制

印支晚期-燕山早期:下扬子地块与华北地块在同时向北漂移过程中,扬子地块北移速率更大,与华北地块古纬度逐步靠近,最终导致两地体碰撞和古秦岭洋由东往西关闭^[33]。下扬子地体同华北地块之间逐步靠拢、拼贴、挤压、褶皱的过程,导致从印支运动的金子事件和南象事件到早燕山运动的燕山 I 幕,南黄海盆地地层抬升、褶皱变形和错断,构造强度依次增大,也造就了多时代盆地迁移和叠合。

从板块活动和盆地演化进程分析,华南板块在印支运动晚期与华北板块发生碰撞,南黄海盆地北部处于碰撞带前缘,受到强烈的挤压作用,并由此产生由北往南的反作用挤压力,往南逐渐减弱,由高角度逆冲转变为逆掩推覆变形特征,下志留统高家边组泥岩层在局部地区成为主要的滑脱层。

燕山中期:由于太平洋板块俯冲活动减弱并转向大陆拉分期,扬子板块和华北板块同步南移,以及印度、欧亚大陆的碰撞和挤压的远程作用^[33],区域应力由挤压汇聚转换为 NW—SE 向拉张,下扬子地块从区域性挤压断褶转变为区域性拉张断陷,这个时期所发生的事件就是黄桥转换事件。

黄桥事件具有“根本性转换”或“前后运动方向相反”的特征^[34]。黄桥事件前的构造特征以挤压构造为主;黄桥转换事件后,发育上白垩-古近系断陷盆地。拉张断陷构造的发生,主要迁就于已有断面,早期推覆体(上盘)沿已有的断面回滑后退。在后退回滑中伴随着掀斜运动,将原推覆断面改造为犁式的重力断层。

喜马拉雅晚期:该期三垛运动是在苏北-南黄海盆地内,发生于古近纪和新近纪之间的一次较大的地壳运动,有人称茅山运动。该期运动使我国东部地区的古近系和新近系之间形成了较普遍的区域不整合。三垛运动是太平洋板块在晚渐新世至早中新世早期,向东亚大陆板块缓慢俯冲,应力逐渐积聚并释放的结果^[35]。它继承并加强了吴堡运动,形成新的褶皱构造和叠合,使吴堡运动时的构造进一步复

杂化,并使处于郯庐断裂带东侧的苏北-南黄海中新生代断陷盆地较大面积地整体上升,上渐新统普遍剥蚀殆尽。三垛运动结束了古近系断块性质的坳陷,转化为更广泛且较统一的坳陷沉积,并促使了古近系晚期油气运移、聚集和重新分配与组合。

3 印支运动以来的演化

以晋宁事件和印支-燕山事件为界,可将下扬子区的构造演化划分为前扬子板块阶段、稳定地台阶段、大陆板块活化阶段。下扬子区海相盆地的沉积演化史至中三叠世末期已基本结束,取而代之的是遭受后期构造运动的改造。印支运动以来,南黄海盆地主要经历了印支期和中生代前陆盆地时期(T_2 — J_2)、转换盆地时期(J_3 — K_2),以及新生代断陷盆地时期(E)和拗陷时期(N)的改造^[8-11]。构造活动先后经历了挤压褶断、碰撞造山,压、张脉动和走滑,拉张块断和反转,挤压收敛等发展过程,形成了中-古生代海相残留盆地与中-新生代陆相断陷盆地叠合改造型盆地^[36]。南黄海盆地印支以来的构造演化史,从其构造变形特点分析,大体上可以分为如下几个阶段:

3.1 海相中-古生界各时期原型盆地的形成

从震旦纪-早志留纪,南黄海盆地具有稳定的大陆板块边缘盆地的特征。构造运动只具有振荡运动的性质,加里东运动使下扬子区长期隆起,缺失上志留统和中-下泥盆统,沉积间断长达 47Ma;加里东运动后其他构造事件都是持续时间短暂,上升幅度较小;中三叠世末的印支运动使华南地区全面隆升,基本结束了本地区的海相地层发育历史,中三叠世末至早白垩纪,南黄海地区大部分都处于隆升剥蚀状态,在局部地区发育有前陆盆地沉积。

3.2 前陆盆地的形成及其对前期盆地的改造

中、晚三叠世至早、中侏罗世,由于下扬子板块与华北板块的陆-陆碰撞及华南造山带的作用,南黄海盆地处于 SE-NW 向强烈的挤压应力环境,区内发生了大规模的逆冲推覆构造,并具有对冲推覆构造特点,其对冲构造的枢纽带位于崂山隆起,呈近 EW 向展布,对冲作用北强南弱,北部发育了南黄海前陆盆地。从南黄海盆地变形来看,海相中-古生界发生强烈变形,形成一系列以近 EW、NE 和 NW 走向为主的挤压褶皱带和逆冲推覆带以及广泛的多层次滑脱,其中下志留统厚层泥岩段底部是区内对冲

前锋的主要滑脱面,把上、下古生界分成两个不协调的形变层。在此情况下,上古生界的构造要比下古生界复杂。

3.3 转换盆地的形成及其对前期盆地的改造

从晚侏罗世至早白垩世,大量的火山喷发形成一系列的火山喷发沉积盆地。位于南黄海盆地东北部的韩国 Inga-1 井钻遇较厚的玄武岩,对应磁力场上的磁力高异常^[37]。在南黄海地区,由于勘探程度低和这一时期地层改造剥蚀程度高,该期地层和构造主要依据下扬子陆域变形特征进行分析。晚侏罗世,下扬子陆域火山岩盆地、火山构造、岩体的空间分布特征^[38],表明它们明显受早期断裂构造控制,意味着岩石圈从剪切破裂向张扭性裂隙的初步转变。这些火山岩盆地主要沿 NNE 和 NE 向走滑断裂分布^[38],具有拉张走滑构造的特点,表明火山岩浆是沿切割较深的走滑断裂的张裂处喷发的,郯庐断裂的左行平移和古太平洋板块的俯冲是此次活动的主要动因。而南黄海盆地远离郯庐断裂带,盆内重磁正异常相对较弱^[6],推断认为南黄海该时期火山岩盆地发育较下扬子陆域弱。

晚侏罗世至白垩纪的盆地改造特点,表现为下白垩统葛村组为零星分布的小型山间盆地沉积,亦呈 NE 条带状与 NE 向走滑断裂相伴生。与此同时,在局部地区出现了走滑挤隆构造,老地层覆于晚侏罗统和早白垩统(J₃-K₁)之上。反映了区内强烈挤压后的调整恢复过程,具有“压”、“张”脉动性质,表现为“热喷发”至“冷收缩”的构造演化特点,但总体上,属于构造活动相对稳定的时期,形成了厚度较大的上覆盖层,对下覆油气藏的保存有重要作用。

3.4 断陷盆地的形成

晚白垩世末,岩石圈转向了伸展运动的全新时期,随着地壳表层开裂的程度逐步加大,终于发展成为以苏北-南黄海盆地为主体的伸展盆地群。南黄海盆地主要由一系列走向 NE 和近 EW 向箕状断陷雁行排列而成,箕状断陷一般受海相中-古生界内部先存断裂的控制,因此,在对冲带崂山隆起两侧,各箕状断陷出现了北部为“南断北超”、南部为“北断南超”的构造格局。

3.5 拗陷盆地的形成

古近系后期至今,区内又处于压张脉动时期,主要表现为古近系与新近系之间的不整合(三垛事件),使本区进入了近 EW 向挤压为特征的收敛期,

从而结束了断陷期进入了新的拗陷期,在近 NNW 向的拗陷中沉积了新近系和第四系。在此期间拗陷盆地的发育对古近系的油气成藏及保存起重要的作用。

4 结论

(1) 南黄海盆地印支期以来的构造变形主要有 3 期,并控制前陆、断陷和拗陷 3 期盆地的形成。晚印支-早燕山期的前陆变形,主要表现为在强烈挤压作用下的隆升和下陷;燕山中期黄桥事件的转换变形,表现为从挤压向拉张的转换过渡;喜马拉雅晚期三垛事件的断拗变形,表现为拉张断陷向拗陷转变。

(2) 印支期以来,南黄海盆地演化经历了挤压褶皱、碰撞造山,压、张脉动和走滑,拉张块断和反转,挤压收敛等发展过程。盆地构造变形机制主要受扬子和华北板块漂移碰撞、古太平洋板块活动特征和大型走滑断裂应力环境等影响。

(3) 南黄海盆地构造变形具有规律性:平面上,以 NE、NEE、近 EW、NW 向为主。从西往东,构造的走向变化特征为 NEE 向→近 EW 向→NW 向;从北往南,构造变形具有强→弱→强特征和分带性,构造的走向变化特征为 NEE 向→近 EW 向。纵向上,海-陆相盆地活动展示了早期褶皱逆冲和晚期伸展断陷的“跷跷板”变形格局,并具有早期“北强南弱的不均衡对冲”和晚期“北深南浅断陷”的构造格局。海相盆地上构造层比海相下构造层冲断变形强。断裂-褶皱性质的变化受盆地性质、软弱层滑脱和应力环境影响,主要有 4 种构造样式。

(4) 崂山隆起南部地区为南北不均衡对冲的弱变形区和应力释放区,中-古生界受后期改造作用较弱,是油气勘探的有利地区。

参考文献 (References)

- [1] 任纪舜. 印支运动及其在中国大地构造演化中的意义[J]. 中国地质科学院院报, 1984, 6(2): 31-44. [REN Jishun. The Indosinian orogeny and its significance in the tectonic evolution of China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1984, 6(2): 31-44.]
- [2] 郭念发. 下扬子盆地与区域地质构造演化特征及油气成藏分析[J]. 浙江地质, 1996, 12(2): 19-27. [GUO Nianfa. Evolutionary ground of basin and regional structure in Lower Yangtze area[J]. Geology of Zhejiang, 1996, 12(2): 19-26.]
- [3] 董树文, 方景爽, 李勇, 等. 下扬子中三叠世一中侏罗世沉积相与印支运动[J]. 地质论评, 1994, 40(2): 111-119. [DONG Shuwen, FANG Jingshuan, LI Yong, et al. Middle Triassic-

- middle Jurassic sedimentary facies and Indosinian movement in the Lower Yangtze region[J]. *Geological Review*, 1994, 40(2): 111-119.]
- [4] 李勇, 钟建华, 温志峰, 等. 印支运动对济阳拗陷构造形态形成演化的影响[J]. *地质论评*, 2006, 52(3): 321-330. [LI Yong, ZHONG Jianhua, WEN Zhifeng, et al. Effects of Indosinian movements on tectonic formation and evolution, Jiyang Depression[J]. *Geological Review*, 2006, 52(3): 321-330.]
- [5] 张玄杰, 张婉, 范子梁, 等. 南黄海北部航空重力场特征及主要地质认识[J]. *中国地质调查*, 2017, 4(1): 50-56. [ZHANG Xuanjie, ZHANG Wan, FAN Ziliang, et al. 2017. Characteristics of airborne gravity field and the main geological discovery in the northern South Yellow Sea[J]. *Geological Survey of China*, 4(1): 50-56.]
- [6] Zhang M H, Xu D S, Chen J W. Geological structure of the Yellow Sea Area from regional gravity and magnetic interpretation[J]. *Applied Geophysics*, 2007, 4(2): 75-83.
- [7] 张训华, 杨金玉, 李刚, 等. 南黄海盆地基底及海相中、古生界地层分布特征[J]. *地球物理学报*, 2014, 57(12): 4041-4051. [ZHANG Xunhua, YANG Jinyu, LI Gang, et al. Basement structure and distribution of Mesozoic-Paleozoic marine strata in the South Yellow Sea basin[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2014, 57(12): 4041-4051.]
- [8] 冯志强, 陈春峰, 姚永坚, 等. 南黄海北部前陆盆地的构造演化与油气突破[J]. *地学前缘*, 2008, 15(6): 219-231. [FENG Zhiqiang, CHEN Chunfeng, YAO Yongjian, et al. Tectonic evolution and exploration target of the northern foreland basin of the South Yellow Sea[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(6): 219-231.]
- [9] 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 Liguu, DING Wenlong, et al. Development and evolution of basins in Yellow Sea[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(5): 647-654.]
- [10] Yao Y J, Chen C F, Feng Z Q, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon potential in northern area of the South Yellow Sea[J]. *Journal of Earth Science*, 2010, 21(1): 71-82.
- [11] 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(Z1): 562-565. [YANG Qi, CHEN Hongyu. Tectonic evolution of the north Jiangsu-South Yellow Sea basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(S1): 562-565.]
- [12] 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.]
- [13] 韩宗珠, 刘涵, 许红, 等. 南黄海盆地盆山耦合作用与地质演化[J]. *海洋地质前沿*, 2015, 31(4): 55-62. [HAN Zongzhu, LIU Han, XU Hong, et al. Geological evolution and basin-range coupling relationship of the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2015, 31(4): 55-62.]
- [14] 龚晓星, 余晓宇, 裴振洪, 等. 下扬子区苏北—南黄海中生界? 古生界构造格架对比分析[J]. *地质论评*, 2017, 63(4): 941-954. [GONG Xiaoxing, SHE Xiaoyu, PEI Zhenhong, et al. Comparison and analysis of Meso-Paleozoic tectonic framework for North Jiangsu—South Yellow Sea, Lower Yangtze[J]. *Geological Review*, 2017, 63(4): 941-954.]
- [15] 张银国, 梁杰. 南黄海盆地二叠系至三叠系沉积体系特征及其沉积演化[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2014, 44(5): 1406-1418. [ZHANG Yinguo, LIANG Jie. Sedimentary system characteristics and their sedimentary evolution from the Permian to Triassic in the Southern Yellow Sea basin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2014, 44(5): 1406-1418.]
- [16] 高顺利, 谭思哲, 侯凯文, 等. 南黄海海域侏罗系分布与构造意义[J]. *海洋地质前沿*, 2015, 31(4): 7-12. [GAO Shunli, TAN Sizhe, HOU Kaiwen, et al. Distribution pattern of the Jurassic in the South Yellow Sea and its tectonic implications[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2015, 31(4): 7-12.]
- [17] 雷宝华, 陈建文, 李刚, 等. 南黄海盆地二叠系地震地层特征与识别[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 29-34. [LEI Baohua, CHEN Jianwen, LI Gang, et al. Seismic stratigraphic features and recognition of the Permian in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 29-34.]
- [18] 陈建文, 龚建明, 李刚, 等. 南黄海盆地海相中-古生界油气资源潜力巨大[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 1-7. [CHEN Jianwen, GONG Jianming, LI Gang, et al. Great resources potential of the marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 1-7.]
- [19] 郭玉贵, 李延成, 许东禹, 等. 黄东海大陆架及邻域大地构造演化史[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1997, 17(1): 1-12. [GUO Yugui, LI Yancheng, XU Dongyu, et al. Tectonic evolution of Yellow Sea, east China sea and continental shelf and adjacent areas[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1997, 17(1): 1-12.]
- [20] 蔡乾忠. 中国东部与朝鲜大地构造单元对应划分[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1995, 15(1): 7-24. [CAI Qianzhong. Corresponding division of geotectonic units of Eastern China and Korea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1995, 15(1): 7-24.]
- [21] 姚永坚, 夏斌, 冯志强, 等. 南黄海古生代以来构造演化[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(2): 124-128. [YAO Yongjian, XIA Bin, FENG Zhiqiang, et al. Tectonic evolution of the South Yellow Sea since the Paleozoic[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(2): 124-128.]
- [22] 郭斌, 王斌, 张月辉. 苏北-南黄海盆地地震构造基本特征[J]. *华北地震科学*, 2013, 31(1): 38-44. [GUO Bin, WANG Bin, ZHANG Yuehui. Seismotectonic characteristic of Northern Jiangsu South Yellow Sea basin[J]. *North China Earthquake Science*, 2013, 31(1): 38-44.]
- [23] 邱旭明, 钱诗友, 于雯泉, 等. 苏北盆地“十二五”油气勘探主要成果? 新认识和技术进展[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(3): 62-73. [QIU Xuming, QIAN Shiyu, YU Wenquan, et

- al. Main achievements, new understanding and technological progress for oil and gas exploration in North Jiangsu Basin during the 12th Five-Year Plan[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(3): 62-73.]
- [24] 庞玉茂, 张训华, 肖国林, 等. 下扬子南黄海沉积盆地构造地质特征[J]. *地质论评*, 2016, 62(3): 604-616. [PANG Yumao, ZHANG Xunhua, XIAO Guolin, et al. Structural and geological characteristics of the South Yellow Sea Basin in Lower Yangtze block[J]. *Geological Review*, 2015, 62(3): 604-616.]
- [25] 陈建文. 南黄海前第三系油气前景研究成果报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2009. [CHEN Jianwen. The pre-Tertiary oil and gas prospects research of South Yellow Sea[R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2009.]
- [26] 袁勇, 陈建文, 张银国, 等. 南黄海盆地崂山隆起海相中—古生界构造地质特征[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 48-53. [YUAN Yong, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, et al. Geotectonic features of the marine Mesozoic-Paleozoic on the Laoshan uplift of the South Yellow Sea Basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 48-53.]
- [27] 郝天珧, 刘建华, Mancheol S, 等. 黄海及其邻区深部结构特点与地质演化[J]. *地球物理学报*, 2003, 46(6): 803-808. [HAO Tianyao, LIU Jianhua, Mancheol S, et al. Deep structure characteristics and geological evolution of the Yellow sea and its adjacent regions[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2003, 46(6): 803-808.]
- [28] 姚永坚, 夏斌, 冯志强, 等. 南黄海构造样式的特征与含油性[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.]
- [29] 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.]
- [30] 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.]
- [31] 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.]
- [32] 孙晶, 王建强, 肖国林, 等. 南黄海盆地中部隆起海相上构造层分布及断裂系统特征[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(10): 18-25. [SUN Jing, WANG Jianqiang, XIAO Guolin, et al. Distribution pattern of marine upper structural layer and fault system on the Central uplift of the South Yellow Sea basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(10): 18-25.]
- [33] 黄宝春, 周姚秀, 朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程[J]. *地学前缘*, 2008, 15(3): 348-359. [HUANG Baochun, ZHOU Yaoyou, ZHU Rixiang. Discussions on Phanerozoic evolution and formation of continental China, based on paleomagnetic studies[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(3): 348-359.]
- [34] 张永鸿. 下扬子区构造演化中的黄桥转换事件与中? 古生界油气勘探方向[J]. *石油与天然气地质*, 1991, 12(4): 439-448. [ZHANG Yonghong. Huangqiao transform event in tectonic evolution of Lower Yangtze region and the Mesozoic-Paleozoic hydrocarbon exploration target[J]. *Oil & Gas Geology*, 1991, 12(4): 439-448.]
- [35] 周山富. 双气囊花粉与三垛运动[J]. *地质论评*, 1994, 40(5): 436-445. [ZHOU Shanfu. Disaccate pollen and Sandou movement[J]. *Geological Review*, 1994, 40(5): 436-445.]
- [36] 梁杰, 张银国, 董刚, 等. 南黄海海相中—古生界储集条件分析与预测[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2011, 31(5): 101-108. [LIANG Jie, ZHANG Yinguo, DONG Gang, et al. A discussion on marine Mesozoic-Palaeozoic reservoirs in South Yellow Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2011, 31(5): 101-108.]
- [37] 杨金玉, 张训华. 重力异常的视密度反演推断扬子与华北块体在南黄海地区的地质界线[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(7): 9-16. [YANG Jinyu, ZHANG Xunhua. Apparent density inversion of gravity anomaly data for detecting the geological boundary between Yangtze block and North China block in the South Yellow Sea[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(7): 9-16.]
- [38] Pang Y M, Zhang X H, Xiao G L, et al. Characteristics of Meso-Cenozoic igneous complexes in the South Yellow Sea Basin, Lower Yangtze Craton of Eastern China and the tectonic setting[J]. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 2017, 91(3): 971-987.