

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2020081901

南黄海盆地东北凹构造特征及伸缩率研究

张田^{1,2}, 朱伟林^{1,2}, 钟锴^{1,2}, 付晓伟^{1,2}, 陈春峰³, 高顺莉³

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2. 同济大学海洋资源研究中心, 上海 200092

3. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要:通过选取南黄海盆地东北凹典型地震剖面,开展精细的构造解释,系统梳理了东北凹构造样式特征。采用平衡剖面恢复技术和伸缩率计算方法,恢复了东北凹各时期的地质演化剖面,分析了东北凹不同构造演化阶段的伸缩率变化特征。研究表明,南黄海盆地东北凹主要发育伸展构造、走滑构造(负花状)和反转构造等多种构造组合样式,经历了晚侏罗世的仪征运动和渐新世末的三垛运动,相应地在中—上侏罗统和渐新统沉积时期,东北凹处于明显的收缩阶段,伴随发育 TK40 和 T20 不整合界面。同时,本文结合区域应力场特征,探讨了南黄海盆地东北凹的构造演化历程:以两次构造运动为界,划分为 3 个构造演化阶段(晚三叠世—侏罗纪的初始断陷阶段、白垩纪—渐新世的裂陷-反转阶段、新近纪—第四纪的区域沉降阶段)。南黄海盆地东北凹伸缩率的时空变化及构造演化过程,是对“晚中生代以来,古太平洋板块相对欧亚板块俯冲汇聚速率和方向的变化”的局部响应。

关键词:伸缩率;构造反转;构造样式;构造演化;东北凹;南黄海盆地

中图分类号:P736.1

文献标识码:A

Tectonic characteristics and extensional-compressional rates of the North-east Sag of South Yellow Sea Basin

ZHANG Tian^{1,2}, ZHU Weilin^{1,2}, ZHONG Kai^{1,2}, FU Xiaowei^{1,2}, CHEN Chunfeng³, GAO Shunli³

1. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2. Center for Marine Resources, Tongji University, Shanghai 200092, China

3. Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: Typical seismic sections are selected for delicate structural interpretation upon the basis of structural features of the North-east Sag of the South Yellow Sea Basin. The balanced cross-section technique and the extensional - compressional rates calculation method are used to reconstruct the tectonic evolution cross-sections for different tectonic evolutionary stages. The characteristics of extensional - compressional rates are analyzed. The results suggest that the North-east Sag of the South Yellow Sea basin is characterized by extensional structures, strike slip structures (negative flower patterns), inversion structures etc. by the Yizheng movement in Late Jurassic and the Sanduo movement by the end of Oligocene. Accordingly, the sag was obviously in compressional status during the deposition of Late Jurassic and Oligocene when the Tk40 and T20 unconformity interfaces were formed. In order to quantify the characteristics of the regional stress field, the paper also reconstructed the tectonic evolution of the north-east sag. Taking the two tectonic movements as the boundaries, the sag is subdivided into three stages of tectonic evolution i.e. the initial faulting- depression stage from Late Triassic to Jurassic, the rifting inversion stage from Cretaceous to Oligocene, and the regional subsidence stage from Neogene to Quaternary. The temporal and spatial variations in the extensional - compressional rates and the tectonic evolution of north-east sag in South Yellow Sea basin represent the local response to the regional stress field, such as the change in convergence rate and motion azimuth between the Pacific plate and the Eurasian plate since Late Mesozoic.

Key words: extensional and compressional rate; structural inversion; structural style; tectonic evolution; north-east sag; the South Yellow Sea Basin

南黄海东北凹位于南黄海盆地北部拗陷的东北部(图 1),总体呈 NEE 向展布,面积约 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,最大沉积厚度约 10 km,是北部拗陷各凹陷中埋藏较深、面积相对较大的一个沉积凹陷,也是北部拗

陷中唯一钻遇侏罗纪地层的凹陷^[1-2]。南黄海盆地东北凹仅有中海油上海分公司于 2008 年钻探的 1 口探井(RC20-2-1),揭示了第四系—上侏罗统,未见油气显示。

作者简介:张田(1982—),在职博士研究生,高级工程师,石油地质专业, E-mail: zhangtian1982@tongji.edu.cn

通讯作者:钟锴(1974—),博士,高级工程师,石油地质专业, E-mail: zhongkai@tongji.edu.cn

收稿日期:2020-08-19; 改回日期:2020-09-29. 周立君编辑

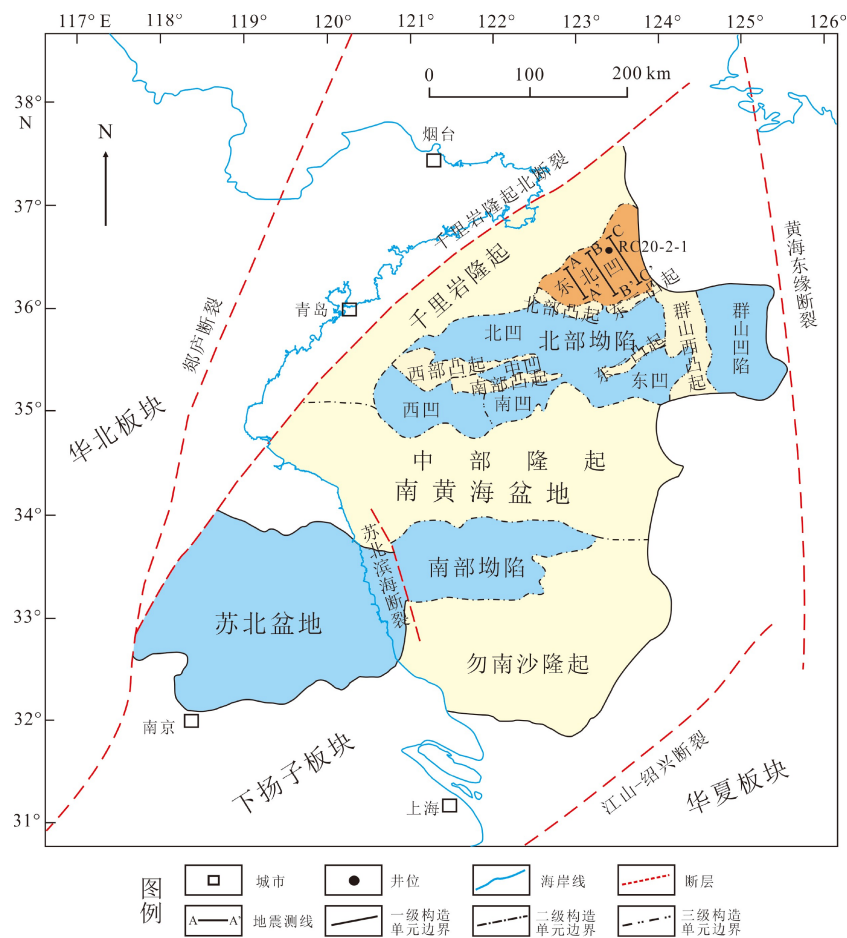


图 1 南黄海盆地及邻区构造区划简图

Fig.1 Tectonic map of the South Yellow Sea Basin and its adjacent areas

目前,南黄海盆地东北凹构造特征方面的研究相对薄弱,仅见少量地层剥蚀方面的报道^[3-4],鲜有涉及构造演化、构造反转^[5]、成因机制等方面的研究,也未曾开展过伸缩率等方面的定量研究工作,这在一定程度上制约着南黄海盆地东北凹的油气勘探进程。

本文通过选取南黄海盆地东北凹典型地震剖面,开展精细的构造解释,系统梳理东北凹的构造样式特征。同时,采用平衡剖面恢复技术和伸缩率计算方法,分析了东北凹各时期的伸缩率与构造变形特征。最后,结合深部动力学背景和区域应力场特征,探讨了东北凹的构造演化历程,填补了南黄海盆地东北凹构造特征研究方面的空白,为进一步推进南黄海盆地东北凹的油气勘探进程奠定了坚实的资料基础。

1 区域地质特征

南黄海盆地主要位于扬子板块,是下扬子板块沿北东方向的海域延伸部分^[6]。南黄海盆地的北界

以千里岩隆起北断裂与华北板块相邻,南界以江山-绍兴断裂与华夏板块相接,西界以苏北-滨海断裂与苏北盆地相连,东界为南黄海东缘断裂。需要指出的是,南黄海盆地北部和南部边界为两期碰撞造山带(华北-下扬子板块碰撞造山、下扬子-华夏板块拼合)的产物,表现为复杂的逆冲断裂带特征^[7-9];而西部和东部边界受控于区域上晚中生代以来古太平洋板块的多期次俯冲作用,迄今表现为区域性走滑断裂的性质^[10-12]。

南黄海盆地整体具有“三隆夹两拗”的构造格局,从北到南依次为千里岩隆起、北部拗陷、中部隆起、南部拗陷、勿南沙隆起^[13]。其中,北部拗陷共发育 7 个凹陷(东北凹、北凹、中凹、西凹、南凹、东凹、群山凹陷)和 6 个凸起(北部凸起、东二凸起、东一凸起、西部凸起、南部凸起、群山西凸起),凹陷和凸起相间分布,各构造单元总体呈 NEE-近 EW 向展布。东北凹位于北部拗陷东北部(图 1),其西北侧为千里岩隆起,南侧为北部凸起和东二凸起。

南黄海盆地东北凹自晚三叠世开始发育,接受了中、新生代巨厚的河流、湖泊相及滨浅海相沉积

建造,自下而上依次为上三叠统(T_3)、下侏罗统(J_1)、中—上侏罗统(J_{2+3})、下白垩统(K_1)、上白垩统泰州组(K_{2t})、古近系古新统阜宁组(E_{1f})、始新统戴南组(E_{2d})和三垛组(E_{2s}),新近系盐城组(N_{1y})及第四系东台组(Q_{pdt}),最大沉积厚度约 10 000 m(表 1)。

东北凹构造演化经历了晚侏罗世仪征运动和渐新世末三垛运动两期构造反转作用,分别以 Tk40 和 T20 角度不整合界面为代表,界面之下地层遭受显著的挤压、褶皱、抬升剥蚀。以两次构造运动为界,可以将东北凹的构造演化大体划分为 3 个阶段:晚三叠世—侏罗纪的初始断陷阶段、白垩纪—渐新世的裂陷-反转阶段、新近纪—第四纪的区域沉降阶段(表 1)。

2 构造样式特征

在凹陷结构方面,南黄海盆地东北凹主要受控于西北侧、南侧的铲式同沉积断层和东侧的构造斜坡,着重表现为箕状断陷特征;相应地,在地层沉积厚度方面,表现出“西北厚、东南薄”的不对称楔形特征。在构造样式方面,东北凹主要发育伸展构造(犁式正断层、顺向断层、反向断层)、走滑构造(负花状)和反转构造等多种构造组合样式(图 2)。

2.1 伸展构造

南黄海盆地东北凹发育的伸展构造主要包括

同沉积犁式正断层、顺向/反向断层(图 2)。同沉积犁式正断层也称铲式正断层,其特点是随着深度增加,断层倾角“上陡下缓”,愈向下断层倾角愈缓,接近于水平;断层断距也具有“上小下大”的特征,说明在断层发育的早期,即东北凹形成初期,断层活动强度最大,对沉积的控制作用也最大。顺向/反向断层是指东北凹斜坡部位发育的与斜坡倾向相同的顺向正断层和与斜坡倾向相背的反向断层,且这些顺向断层/反向断层具有多米诺式组合特征,剖面上呈叠瓦状,平面上呈雁列式展布。

2.2 走滑构造

南黄海盆地东北凹发育的走滑构造主要为负花状构造。主干走滑断层与伴生的分支断层构成的上宽下窄、似“花朵”状的破裂带称为花状构造。其中,负花状构造是在张扭作用下产生的,其大多数断层具有正断距(图 2)。东北凹发育的负花状构造大多位于凹陷中央部位,主要起到局部重力及应力调节作用。

2.3 反转构造

东北凹的地震剖面中可识别出两期明显的构造反转特征,以 T20 和 Tk40 角度不整合界面为代表,界面之下地层遭受显著的挤压抬升剥蚀(图 2)。其中, Tk40 不整合面代表晚侏罗世仪征运动,南黄海盆地东北凹经历的第一次挤压构造反转,界面之

表 1 南黄海盆地东北凹构造演化简表
Table 1 Tectonic evolution of north-east sag, the South Yellow Sea Basin

地层				年代/Ma	地震界面	构造运动	构造演化				
系	统	组	段								
第四系	更新统	东台组Q ₅ dt		2.6	T0	三垛运动	区域沉降				
新近系	上新统	上盐城组N ₂ s	二段 一段					5.3	T10		
	中新统	下盐城组N ₁ x	二段 一段	23.3	T20						
	古近系	渐新统	E ₃						32	T50 T80	裂陷-反转
始新统		三垛组E ₂ s	二段 一段	56.5							
		戴南组E ₃ d	二段 一段		65						
			古新统			阜宁组E ₁ f	四段 三段 二段 一段	T100			
		白垩系				上白垩统	泰州组K ₂ t		65		
下白垩统				K ₁		Tj30 Tj60					
侏罗系		上侏罗统		J ₃	Tj30 Tj60		初始断陷				
		中侏罗统	J ₂								
	下侏罗统	J ₁									
三叠系	上三叠统	T ₃									

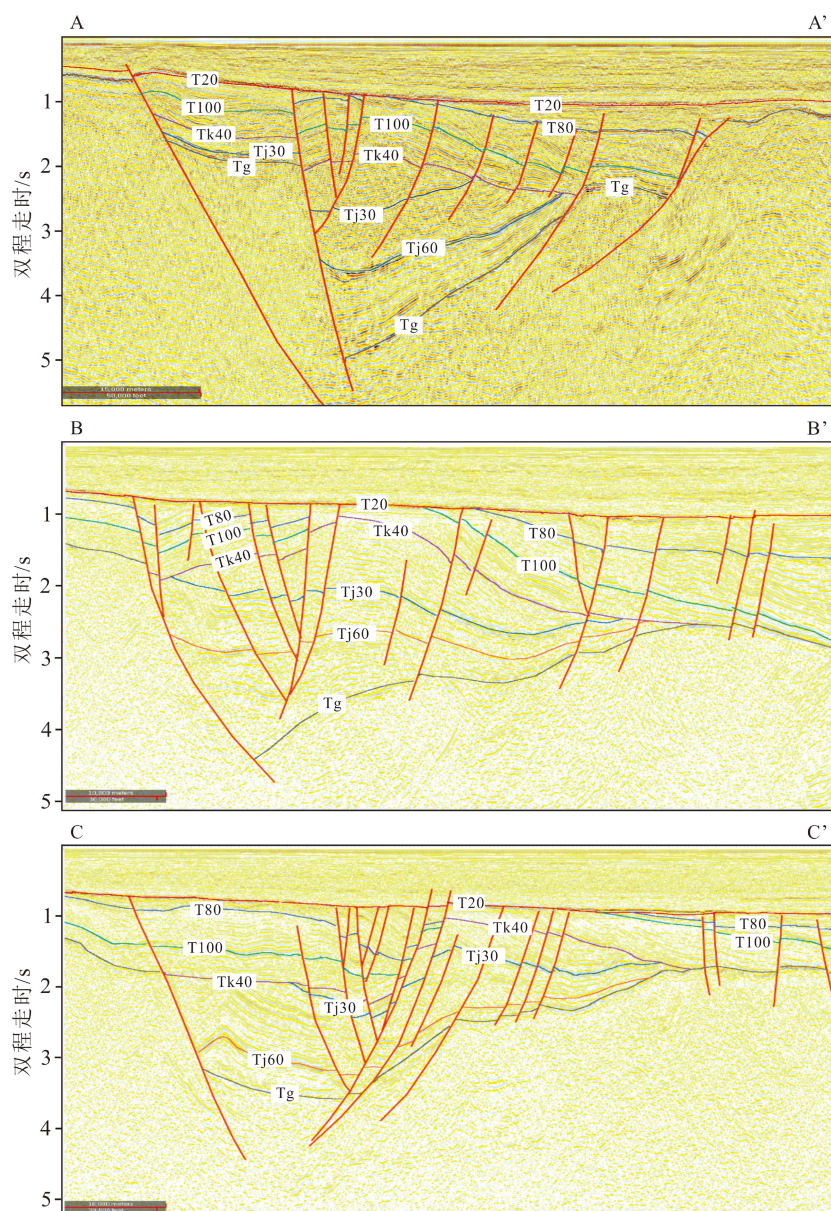


图 2 南黄海盆地东北凹地震剖面特征

(剖面位置见图 1)

Fig.2 Characteristics of seismic sections in north-east sag, the South Yellow Sea Basin

(see Fig.1 for profile location)

下的侏罗系遭受强烈挤压抬升剥蚀,侏罗纪地层背斜形态明显,界面上下地层呈角度不整合接触关系。T20 不整合面代表渐新世末期三垛运动,界面之下地层发生明显的隆升、剥蚀,缺失始新统上部和渐新统沉积。

3 平衡剖面恢复与伸缩率计算

平衡剖面技术是一种遵循几何守恒原则而建立的地质剖面正演与恢复方法,已成为区域构造应力分析与构造变形恢复的重要手段,是构造演化定

量分析的有效方法。平衡剖面恢复主要遵循层长和面积守恒,由于研究区主要为刚性岩层,本文运用层长守恒法则绘制平衡剖面,即假定地层厚度不变,岩层在变形后的长度和初始沉积时的长度是相同的^[14]。利用平衡剖面技术将现今的剖面进行岩石变形和地层伸缩变形的恢复,从而得到南黄海盆地东北凹各时期的伸展和压缩量,获取各演化阶段的构造变形和展布特征。

假设每条地震剖面原始长度为 L_0 ,变形后长度为 L_1 ,伸展率、压缩率 $= (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$,正值代表伸展,负值代表收缩。对选取的 3 条地震剖面分别

恢复了晚三叠世(T_3)、早侏罗世(J_1)、中—晚侏罗世(J_{2+3})、白垩世(K)、古新世—始新世(E_{1+2})、渐新世(E_3)等各时期的地质剖面,得到各时期剖面的伸缩率(表 2),部分平衡剖面恢复结果见图 3。

表 2 南黄海盆地东北凹伸缩率计算结果
Table 2 The extensional and compressional rate of north-east sag, the South Yellow Sea Basin

时代	T_3	J_1	J_{2+3}	K	E_{1+2}	E_3
剖面A-A'	2.6%	3.5%	-3.2%	3.2%	5.6%	-4.5%
剖面B-B'	3.7%	4.5%	-6.2%	1.5%	4.4%	-5.2%
剖面C-C'	1.8%	2.6%	-7.6%	2.3%	7.0%	-3.0%

研究表明,南黄海盆地东北凹的伸缩率具有如下特征:

(1)晚三叠世(T_3)、早侏罗世(J_1)沉积时期南黄海盆地东北凹整体处于弱伸展阶段,且早侏罗世(J_1)沉积时期的伸展强度(伸缩率为 2.6%~4.5%)总体大于晚三叠世(T_3)沉积时期(伸缩率为 1.8%~3.7%)(图 4),说明由晚三叠世(T_3)到早侏罗世(J_1),东北凹的伸展强度有逐渐增强的趋势。同时,晚三叠世(T_3)沉积时期,东北凹的中部伸缩率最大(伸缩率为 3.7%),其次为南部(伸缩率为 2.6%)和北部(伸缩率为 1.8%),说明晚三叠世(T_3)时期,东北凹中部的伸展强度最大,大于凹陷南部和北部(图 5)。早侏罗世(J_1)沉积时期,东北凹的南部、中部和北部的伸缩率,具有与晚三叠世(T_3)相似的规律(图 5)。

(2)中—晚侏罗世(J_{2+3})沉积时期,南黄海盆地东北凹整体转为收缩阶段,伸缩率为-3.2%~-7.6%(图 4),说明在中—晚侏罗世(J_{2+3})沉积之后东北凹经历了第一次构造反转作用,该期构造反对应应于中—晚侏罗世仪征运动,在东北凹以 Tk40 角度不整合界面为代表,界面之下地层褶皱、抬升剥蚀明显。此外,该时期东北凹北部的伸缩率(-7.6%),总体大于中部(-6.2%)和南部(-3.2%),说明该期构造反转作用强度在东北凹具有“北强南弱”的特征(图 5)。

(3)白垩世(K)、古新世—始新世(E_{1+2})沉积时期,南黄海盆地东北凹再次处于伸展状态,且古新世—始新世(E_{1+2})沉积时期的伸展强度(伸缩率为 4.4%~7.0%)总体大于晚白垩世(K)沉积时期(伸缩率为 1.5%~3.2%)(图 4),表明从白垩世(K)到古新世—始新世(E_{1+2}),东北凹的伸展强度有逐渐增强的趋势。同时,白垩世(K)沉积时期,东北凹南部的伸缩率(3.2%)大于北部(2.3%)和中部(1.5%);古新

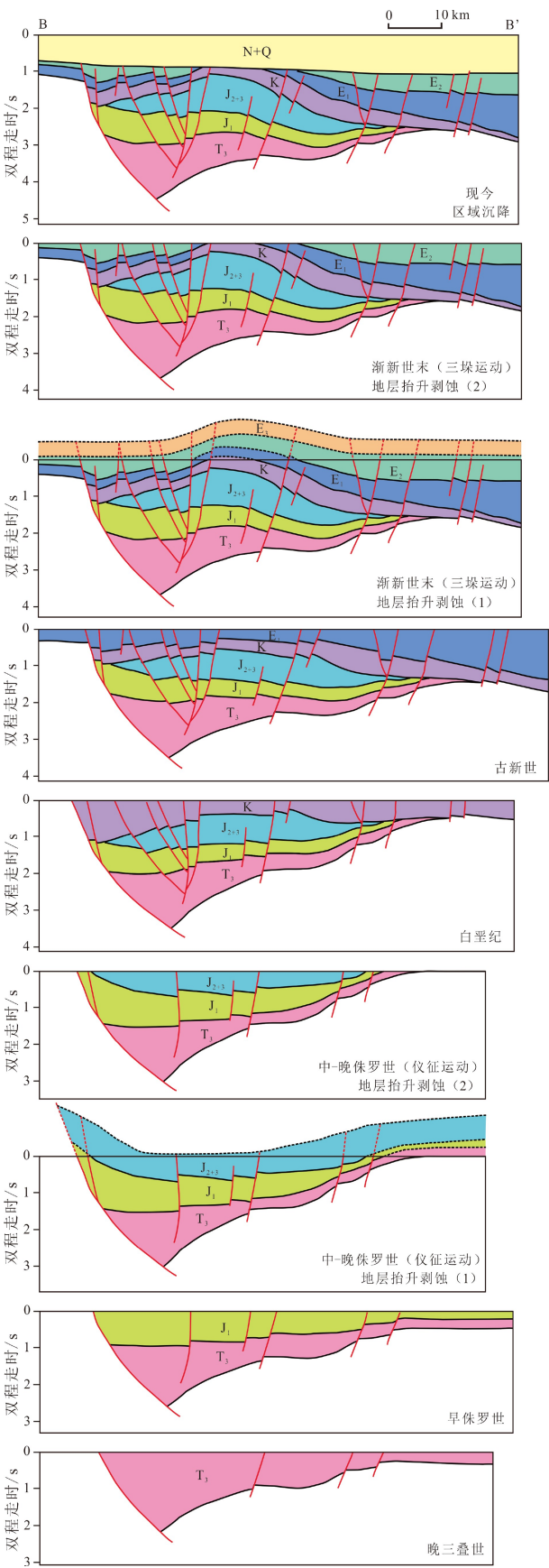


图 3 南黄海盆地东北凹构造演化
Fig.3 The tectonic evolution section of north-east sag in the South Yellow Sea Basin

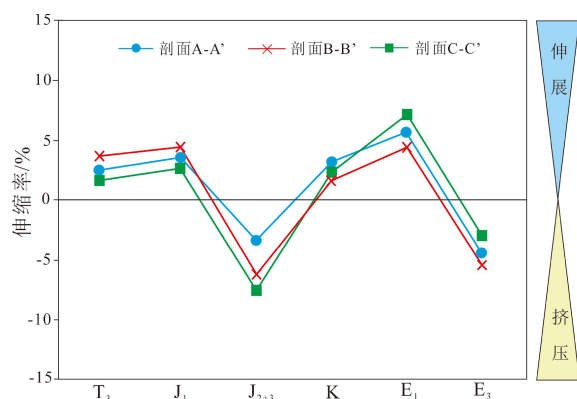


图 4 南黄海盆地东北凹伸缩率时间变化趋势

(剖面位置见图 1)

Fig.4 The difference of extensional - compressional rates in different tectonic evolution stages of north-east sag, the South Yellow Sea Basin
(see Fig.1 for profile location)

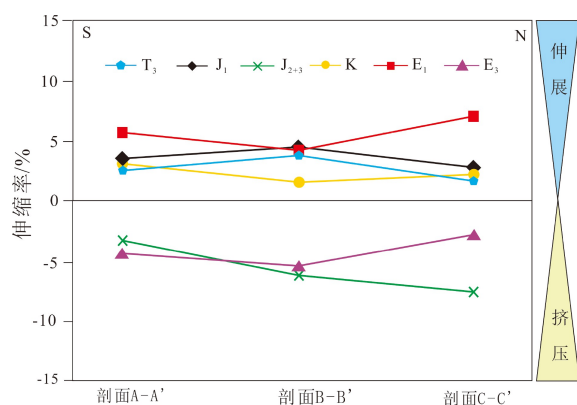


图 5 南黄海盆地东北凹伸缩率空间变化趋势

(剖面位置见图 1)

Fig.5 The difference of extensional -compressional rates in different space of north-east sag, the South Yellow Sea Basin
(see Fig.1 for profile location)

世—始新世(E_{1+2})沉积时期,北部的伸缩率(7.0%)大于南部(5.6%)和中部(4.4%)(图 5)。

(4)渐新世(E_3)沉积时期,东北凹发生了明显的收缩,伸缩率为 $-3.0\% \sim -5.2\%$ (图 4),东北凹中部的伸缩率(-5.2%)略大于南部(-4.5%)和北部(-3%)(图 5)。说明在渐新统(E_3)沉积之后,南黄海盆地东北凹经历了第二次构造反转作用,该期构造反转作用对应于渐新世末三垛运动,以 T20 角度不整合界面为代表,界面之下地层发生明显的隆升、剥蚀,缺失始新统上部 and 渐新统沉积。

南黄海盆地东北凹各时期的伸缩率变化特征刚好与东北凹的构造演化历程相耦合,即东北凹存在两期伸展阶段(T_3-J_1)和($K-E_2$),伸缩率为正值,且每个伸展阶段的伸缩率均是“由小到大”逐渐增强,

表明伸展作用“由弱向强”过渡;而每期伸展阶段的结束,均存在一次构造反转作用,伸缩率为负值,代表着凹陷伸展作用向挤压作用的调整,即南黄海东北凹具有“弱伸展→强伸展→构造反转”的构造演化规律,这与中国东部各盆地(凹陷)具有相似的演化特征。

4 构造演化特征

南黄海盆地处于古亚洲构造域和滨太平洋构造域的核心区域,位于下扬子板块东北缘^[15],是一个中—新生界陆相沉积叠加于中—古生界海相碳酸盐岩沉积之上的叠合盆地。南黄海盆地东北凹作为一个晚三叠世开始发育的中—新生界沉积凹陷,经历了中—晚侏罗世仪征运动、渐新世末三垛运动等多期构造运动的叠加改造,且构造运动与东北凹构造样式的时空展布、发育期次和成因机制之间表现出良好的耦合关系。其中,晚中生代以来,古太平洋板块相对欧亚板块的俯冲作用是控制南黄海盆地东北凹构造、沉积演化的最关键因素。

4.1 初始断陷阶段(三叠纪末—侏罗纪)

三叠纪末,扬子板块与华北板块发生碰撞,形成秦岭-大别-苏鲁造山带^[16-17],彻底改变了中国东部古生代盆地的发展格局,中国东部逐渐由古亚洲构造域转向滨太平洋构造域^[18]。印支运动结束后,南黄海盆地东北凹开始进入初始断裂阶段,发育了少量上三叠统和近 2 000 m 的侏罗系沉积地层^[1-2]。进入晚侏罗世,中国东部深部地球动力学背景和区域应力场特征又发生了巨大的转变,古太平洋板块开始以 NW 向、低角度相对欧亚板块俯冲^[19],南黄海盆地东北凹经历了第一次构造反转(仪征运动),强烈的挤压应力作用导致上侏罗统顶界发育以 Tk40 为代表的角度不整合界面,界面之下地层褶皱、抬升剥蚀明显。

4.2 裂陷-反转阶段(白垩纪—古近纪)

进入早白垩世,古太平洋板块俯冲角度逐渐变陡,导致地幔上涌、板片后撤,中国东部构造应力体制发生了根本性的转折,由 NW-SE 向挤压应力环境转换为区域性拉张应力环境,此时南黄海盆地东北凹开始进入裂陷阶段,发育白垩系和古近系沉积地层。直到渐新世末,随着古太平洋板块俯冲速率的加大^[20],南黄海盆地东北凹经历了第二次构造反转(三垛运动),以 T20 角度不整合界面为代表,界

面之下地层发生明显的隆升、剥蚀,缺失始新统上部和渐新统沉积。

4.3 区域沉降阶段(新近纪—第四纪)

新近纪以来,随着海水的侵入和地壳的均衡沉降,南黄海盆地东北凹整体进入区域沉降阶段。

5 结论

(1)南黄海盆地东北凹经历了多期构造运动的叠加改造,在凹陷内发育伸展构造(犁式正断层、顺向断层、反向断层)、走滑构造(负花状)和反转构造等多种构造组合样式。

(2)东北凹经历两期构造反转:①中—晚侏罗世沉积后,东北凹经历第一期构造反转,对应晚侏罗世仪征运动,以Tk40角度不整合界面为代表,界面之下地层褶皱、抬升剥蚀明显;②渐新统沉积后,东北凹经历第二期构造反转,对应渐新世末三垛运动,以T20角度不整合界面为代表,界面之下地层发生明显的隆升、剥蚀,缺失始新统上部和渐新统。

(3)平衡剖面恢复和伸缩率计算结果表明:①晚三叠世、早侏罗世,东北凹整体处于弱伸展阶段,且早侏罗世伸展强度大于晚三叠世;②中—晚侏罗世,东北凹整体转为收缩阶段,对应第一次构造反转(仪征运动);③白垩纪和古新世—始新世,东北凹再次处于伸展状态,且从白垩纪到古新世—始新世,伸展作用逐渐增强;④渐新世,东北凹再次发生明显收缩,对应第二次构造反转(三垛运动)。

(4)南黄海盆地东北凹的构造演化与区域应力场特征息息相关,是对“晚中生代以来,古太平洋板块相对欧亚板块俯冲汇聚速率和方向的改变”的局部响应。相应地将南黄海盆地东北凹的构造演化大体划分为3个阶段:晚三叠世—侏罗纪的初始断陷阶段、白垩纪—古近纪的裂陷-反转阶段、新近纪—第四纪的区域沉降阶段。

参考文献(References)

- [1] 高顺莉,周祖翼.南黄海盆地东北凹侏罗纪地层的发现及其分布特征[J].*高校地质学报*,2014,20(2):286-293.[GAO Shunli,ZHOU Zuyi.Discovery of the Jurassic strata in the north-east sag of South Yellow Sea[J].*Geological Journal of China Universities*,2014,20(2):286-293.]
- [2] 高顺莉,徐曦,周祖翼.南黄湖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.]
- [3] 张海军,曹强,孙建峰.地层剥蚀厚度恢复研究:以南黄湖北部盆地东北凹为例[J].*中国石油勘探*,2008,13(5):21-25.[ZHANG Haijun,CAO Qiang,SUN Jianfeng.Study on strata eroded thickness restoration: a case study of northeast depression in northern South Yellow sea basin[J].*China Petroleum Exploration*,2008,13(5):21-25.]
- [4] 郭飞飞,曹强,唐文旭.南黄湖北部盆地东北凹陷地层剥蚀厚度恢复[J].*海洋地质与第四纪地质*,2009,29(5):99-105.[GUO Feifei,CAO Qiang,TANG Wenxu.Study on strata erosion thickness restoration in Northeast Depression of South Yellow Sea basin[J].*Marine Geology & Quaternary Geology*,2009,29(5):99-105.]
- [5] 李楠,李巍然,龙海燕.南黄海盆地北部凹陷正反转构造[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.]
- [6] 雷宝华,陈建文,梁杰,等.印支运动以来南黄海盆地的构造变形与演化[J].*海洋地质与第四纪地质*,2018,38(3):45-54.[LEI Baohua,CHEN Jianwen,LIANG Jie,et al.Tectonic deformation and evolution of the South Yellow Sea basin since Indosinian movement[J].*Marine Geology & Quaternary Geology*,2018,38(3):45-54.]
- [7] 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.]
- [8] Pang Y M,Zhang X H,Guo X W,et al.Basin modeling in the initial stage of exploration: A case study from the North Subbasin of the South Yellow Sea Basin[J].*Acta Oceanologica Sinica*,2017,36(9):65-78.
- [9] 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.
- [10] 王巍,陈高,王家林,等.苏北南黄海盆地区域构造特征分析[J].*地震学刊*,1999(1):47-55.[WANG Wei,CHEN Gao,WANG Jialin,et al.Analysis for regional structural characteristics of north Jiangsu-South Yellow Sea basin[J].*Journal of Seismology*,1999(1):47-55.]
- [11] 郝天珧,SUH M,王谦身,等.根据重力数据研究黄海周边断裂带在海区的延伸[J].*地球物理学报*,2002,45(3):385-397.[HAO Tianyao,SUH M,WANG Qianshen,et al.A study on the extension of fault zones in Yellow Sea and its adjacent areas based on gravity data[J].*Chinese Journal of Geophysics*,2002,45(3):385-397.]
- [12] 胥颐,郝天珧,李志伟,等.中国边缘海域及其邻区的岩石层结构与构造分析[J].*地质前缘*,2008,15(3):55-63.[XU Yi,HAO Tianyao,LI Zhiwei,et al.Analysis of lithospheric structure and tectonics of the Chinese marginal seas and adjacent region[J].*Earth Science Frontiers*,2008,15(3):55-63.]
- [13] 李慧君.南黄海盆地海相中—古生界构造区划[J].*海洋地质前沿*,2014,30(10):8-13.[LI Huijun.The tectonic division of the Mesozoic-Paleozoic in the south Yellow sea basin[J].*Marine*

- Geology Frontiers, 2014, 30 (10): 8-13.]
- [14] 周建勋. 同沉积挤压盆地构造演化恢复的平衡剖面方法及其应用[J]. *地球学报*, 2005, 26 (2): 151-156. [ZHOU Jianxun. The balanced cross-section method for restoration of structural evolution in compressional basins with synkinematic sedimentation and its application [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2005, 26 (2): 151-156.]
- [15] 李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 等. 渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏[J]. *地学前缘*, 2010, 17 (4): 64-89. [LI Sanzhong, SUO Yanhui, DAI Liming, et al. Development of the Bohai Bay Basin and destruction of the North China craton [J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17 (4): 64-89.]
- [16] 万天丰, 朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁[J]. *现代地质*, 2002, 16 (2): 107-120. [WAN Tianfeng, ZHU Hong. Tectonics and environment change of Meso-Cenozoic in China continent and its adjacent areas [J]. *Geoscience*, 2002, 16 (2): 107-120.]
- [17] Li S Z, Jahna B M, Zhao S J, et al. Triassic southeastward subduction of North China Block to South China Block: Insights from new geological, geophysical and geochemical data [J]. *Earth-Science Reviews*, 2017, 166: 270-285.
- [18] 朱光, 刘国生, 李双应, 等. 下扬子地区盆地的“四层楼”结构及其动力学机制[J]. *合肥工业大学学报: 自然科学版*, 2002, 23 (1): 47-52. [ZHU Guang, LIU Guosheng, LI Shuangying, et al. “Four-story” structure of the basins in the Lower Yangtze region and their geodynamic setting [J]. *Journal of Hefei University of Technology: Natural Science*, 2002, 23 (1): 47-52.]
- [19] 朱光, 刘程, 顾承串, 等. 郯庐断裂带晚中生代演化对西太平洋俯冲历史的指示[J]. *中国科学: 地球科学*, 2018, 61 (4): 386-405. [ZHU Guang, LIU Cheng, GU Chengchuan, et al. Oceanic plate subduction history in the western Pacific Ocean: Constraint from late Mesozoic evolution of the Tan-Lu Fault Zone [J]. *Science China Earth Sciences*, 2018, 61 (4): 386-405.]
- [20] Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleo-geographic maps of the Japanese islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. *The Island Arc*, 1997, 6 (1): 121-142.