

文章编号:1009-2722(2013)06-0007-06

南黄海北部坳陷及周缘地区白垩纪以来构造研究进展

廖 晶^{1,2}, 赵 华³, 张 伟³, 路云英³

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;

2 国土资源部青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 3 中国石化集团国际石油勘探开发公司, 北京 100029)

摘 要:南黄海北部坳陷是在印支期前陆盆地基底上发育的白垩纪—新生代大型伸展盆地。笔者系统总结了国内外学者南黄海北部坳陷周缘大地构造学研究、盆地内构造变形—陆相层序充填研究近年来的研究成果, 对比了中韩两国学者对于北部坳陷的陆相层序划分方案的异同点, 列举了目前研究的薄弱点, 提出了一些亟待解决的问题。此研究对于东亚陆缘断陷盆地群地球动力学机制分析、扬子—华北碰撞造山带垮塌研究以及南黄海油气勘探突破均有重要的科学和经济意义。

关键词:北部坳陷; 构造变形; 断裂; 动力学机制

中图分类号:P736.1 **文献标识码:**A

1 研究概况

东亚及邻区白垩纪以来普遍发育伸展断陷作用, 形成了亚洲东部伸展盆地群^[1], 这些盆地北至鄂霍次克海, 南至中国南海, 西至贝加尔湖, 东至日本海—黄海—东海一线^[2], 几乎都经历了相同的构造演化历史, 其相似性表现在: ①几何特征和展布方位具有相似性, 以 NNE、NEE 及 EW 向为边界断层的盆地占绝对优势; ②盆地形成时两侧块体伸展方向基本一致, 为近 NS 向分离; ③地球动力学机制具有相似性, 印度板块对欧亚板块的碰撞和推挤, 太平洋板块的向西俯冲共同作用导致东亚陆缘最小主应力方位呈 NS 向展布; ④盆地边界断裂主要是中生代形成的 NNE、NEE 及

EW 向断裂继承性活动的产物^[3], 且这些盆地多发于巨厚的含油气碎屑层, 以河湖相沉积为主, 局部可能有海侵^[1]。

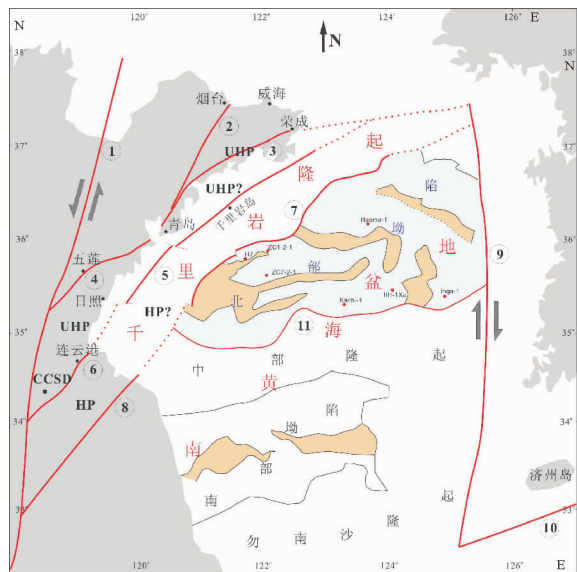
南黄海北部坳陷是在上述构造背景下发育起来的大型伸展断陷盆地, 并叠加了古近纪—第四纪的坳陷层序^[2, 4-6], 总体呈东宽西窄的三角形盆地。如前述, 北部坳陷具有与东亚陆缘相同的边界断裂走向: 北部以 NEE—NE 向千里岩断裂(图 1 中 7 号断裂)与千里岩隆起相分割、南部以 EW 向断裂(图 1 中 11 号断裂)与南黄海中部隆起分隔^[7]、东部以 NS 向黄海东缘断裂(图 1 中 9 号断裂)与朝鲜半岛分隔^[8, 9], 且这些断裂主要是扬子—华北板块印支期俯冲碰撞遗留下来的古老断裂^[10, 11]。另外, 南黄海北部坳陷紧邻苏鲁超高压变质带, 通过大陆科学钻探计划对陆域超高压变质带的俯冲回返等作用有了长足的认识^[10, 12-14]。但对于造山作用后的岩石圈垮塌机制, 尤其是海域中南黄海北部坳陷如何由前陆盆地转换为伸展断陷体系尚未开展相关的研究工作, 且我国对南黄海盆地近 40 年的油气勘探未获重大突破, 而

收稿日期: 2012-09-26

基金项目: 国家自然科学基金(41106060); 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金(MRE201122)

作者简介: 廖 晶(1984—), 男, 硕士, 主要从事构造地质与水合物成藏研究工作, E-mail: qdliaojing@gmail.com

同期发育的苏北、渤海湾等盆地都已探明巨量的油气资源。因此,开展南黄海北部坳陷白垩纪以来构造变形特征及动力学机制研究,无论对于东亚陆缘断陷盆地群地球动力学研究、还是扬子—华北碰撞后造山带垮塌机制以及南黄海油气勘探突破都有重要的科学和经济意义。



1 郯庐断裂带;2 青岛—烟台断裂(牟平—即墨断裂);
3 青岛—荣成断裂;4 五莲—青岛断裂;5 过千里岩岛断裂;
6 泗阳—连云港断裂;7 千里岩断裂;8 嘉山—响水断裂;
9 黄海东缘断裂;10 济州岛南缘断裂;11 北部坳陷南缘边界断裂;
UHP:超高压变质带;HP:高压变质带;CCSD:大陆科学钻探主孔;
图中浅蓝色为北部坳陷,黄色为坳陷内隆起区;虚线示推测断层。

图1 千里岩隆起及邻区地质简图(据文献[11, 12, 15-18])

Fig.1 Simplified geological map of Qianliyan Uplift and adjacent area (from references [11,12,15-18])

2 研究进展

目前国内外学者对于北部坳陷及邻域的研究主要集中在盆地周缘大地构造学研究、盆地内构造变形—陆相层序充填研究2方面。

2.1 坳陷周缘大地构造学研究

盆地周缘大地构造学研究主要集中在华北—扬子俯冲碰撞及大别—苏鲁超高压变质作用及后期花岗岩侵入、东亚断陷盆地群(已述)、郯庐断裂的走滑作用、Izanagi—Kula—太平洋板块俯冲作用及白垩纪中国东部高原等方面。

众所周知,印支运动造成了秦岭—大别—苏鲁巨型造山带的隆起,也造成了俯冲的扬子陆壳经历超高压变质作用折返上升成为苏鲁超高压变质带,苏鲁超高压变质带由4条相互平行的HP—UHP构造带组成:①南苏鲁HP构造带,主要由高压低温变质岩组成(P 为0.75~0.8 GPa, T 为300~360 °C);②南苏鲁VHP构造带,主要由较高压变质岩组成(P 为1.5~2.5 GPa, T 为300~360 °C);③南苏鲁UHPS构造带,主要由表壳片麻岩和花岗片麻岩组成,榴辉岩透镜体和超镁铁岩透镜体侵位其中($P>2.8$ GPa, T 为650~900 °C);④北苏鲁UHPN构造带,主要由花岗片麻岩组成^[10, 12]。根据测龄资料, Xu等^[10]解释了超高压变质及回返过程。HP变质带的俯冲年龄 >253 Ma,俯冲深度至30 km;VHP变质带俯冲深度约60 km;UHP变质带俯冲年龄为260/254~237/230 Ma,最大俯冲深度约为150 km,俯冲速率为4.8~6.1 km/Ma。变质带的折返年龄稍稍滞后于俯冲作用,HP变质带折返年龄为253/243~214 Ma;UHP带在237/230~220/200 Ma由150 km折返至15~20 km深度,折返速率约5.2~5.4 km/Ma,与此同时形成若干韧性剪切带。随后变质带经历整体上隆阶段,200~90 Ma折返带整体上隆速率为0.95 km/Ma,90~30 Ma折返带继续低速上隆速率为0.035 km/Ma。折返期后大规模的花岗岩侵位于北苏鲁UHP变质带(200~85 Ma),五莲—青岛断裂在145~65 Ma持续活动形成了白垩纪莱阳盆地。印支运动还极大的影响了下扬子中、古生界碳酸盐岩地层构造形态,由于碰撞挤压作用,中、古生界均发育强烈的逆冲推覆构造^[19],这些强烈变形的碳酸盐岩地层上覆北部坳陷新生代陆相充填,且某些逆冲推覆断层在白垩纪以后反转为正断层控制了断陷期的演化^[20-22]。

郯庐断裂自发现以来,学者对其形成时间、走滑方式及时间、走滑距离等问题一直争论不休^[23-30]。徐嘉炜^[29]认为郯庐断裂走滑时间为晚三叠世—早白垩世,高潮在晚三叠世晚期,中部左行平移740 km^[31],但在这种模式下700余千米的左旋位移量如何在郯庐断裂南缘被吸收没有给出合理的解释;许志琴^[11,32,33]认为郯庐断裂带在印支期可能是一条陆内俯冲型左行转换韧性剪切

带;朱光等^[30, 31]认为郯庐断裂带大规模左行平移发生在早白垩世末期,推测在 110~130 Ma 以前;万天丰^[1]认为郯庐断裂带经历了 1 次以走滑为主(250~208 Ma)、2 次以正断层活动为主(135~52 Ma 和 23.3~0.73 Ma)、3 次以逆断层活动为主(208~135 Ma, 52~23.3 Ma 以及 0.73 Ma 以来)的断裂活动。值得注意的是,Zhang 等^[34]通过构造物理实验模拟华北、扬子两板块的碰撞过程后发现:以扬子板块的岩石圈强度不可能楔入华北板块,更可能的是华北板块以近直角(今大别山与郯庐断裂夹角)向南楔入扬子板块。此外有学者认为郯庐断裂的分支断裂即嘉山响水—千里岩断裂的走滑作用决定了北部坳陷的新生代的构造反转等作用^[35]。

Izanagi—Kula—太平洋板块俯冲作用及白垩纪中国东部高原研究进展表明,晚侏罗世末期,Izanagi 板块出现,近垂直向西北发生俯冲,亚洲东缘均受到该板块影响;早白垩世早期(145.5~125 Ma),Izanagi 板块以较快速度(30 cm/a)向 NW 方向俯冲,中国大陆东部总体上处于挤压环境,随着地壳隆升,在郯庐断裂带以东形成了一个横跨东亚大陆边界的高原。东亚地区在 150~125 Ma(提通期—巴列姆斯)均处于该挤压构造环境,造成了本区下白垩统地层的大范围缺失^[36]。早白垩世晚期(125~99.6 Ma),Izanagi 板块转向正北方向运动,东亚大陆边缘成为转换边界。这一构造体制的转换诱发了华北克拉通岩石圈垮塌和破坏,其直接影响是在东亚地区形成了广布的裂谷盆地系统,并发育了 130~100 Ma 的火山岩。青岛崂山的花岗岩年龄为 130~110 Ma,属于壳幔混合型花岗岩 I-A 型^[37],为该期活动的产物。晚白垩世早期(99.6~84 Ma),Izanagi 板块开始 NW 向运动(23.5 cm/a),在东亚大陆北部边缘发生斜向俯冲。晚白垩世晚期(84~65.5 Ma),东亚大陆边界仍受 Izanagi 板块(Kula 板块?)冲击,Izanagi 板块在东亚大陆北部边界发生 W 向俯冲,但俯冲速率较晚白垩世早期变小^[36],最终形成东亚陆缘伸展盆地群。

2.2 盆地内构造变形—陆相层序充填研究

盆地内构造变形—陆相层序充填研究主要包括边界断层确证、白垩纪以来沉积环境—古气候演化、断陷—坳陷期构造层序划分、与板块碰撞有

关的前陆盆地及下伏构造层研究、盆地内伸展断层的半定量研究、盆地内反转断层研究、成盆动力学机制研究等方面。

经确证,北部坳陷的边界断层主要有 3 条(图 1)。北部和南部边界大部分在地震资料上显示清楚,国内外多数学者认为千里岩断裂是嘉山响水断裂在海区的延伸^[7, 21, 38],但在地震剖面上千里岩断裂在坳陷西缘无法追踪(图 1 中虚线所示),可能存在 2 种情况:①千里岩断裂没有向西继续延伸上陆或与本区布格重力异常一样分为 2 条较小的断裂向西逐渐尖灭;②对黄海重力资料的解释表明盆地的东部边界为黄海东缘断裂^[8, 9]。

前人对断陷—坳陷期构造层序划分研究存在分歧,对于晚白垩世以来的地层划分方案,中韩学者的意见不统一(表 1)。

表 1 南黄海盆地北部坳陷印支期以来演化史(据文献[4])
Table 1 Tectonic evolutionary history of the northern sag, South Yellow Sea since Indosinian orogeny
(from reference [4])

造山运动	地质时代		沉积相	古气候	盆地演化	韩方方案	中方方案
嘉山运动	第四纪	全新世	海侵		海侵		东台组
		更新世					
	新近纪	上新世	河流相	干燥寒冷	区域沉降	SU-3	上盐城组
		中中新世	冻融交替沉积			Es2	
		中新世	三角洲/浅湖相	温暖潮湿		SU-2	下盐城组
		早中新世				Es1	
燕山运动	古近纪	渐新世	冻融交替沉积		构造反转/逆冲构造	未接受沉积	T2
		始新世	河流/河流相	干燥寒冷			三垛组
		中始新世	河流相	温暖潮湿			戴南组
		早始新世					
	古新世	晚古新世	河流相	温暖潮湿	断陷期	SU-1	阜宁组
		中古新世	冲积扇				
		早古新世					
	白垩纪	晚白垩世晚期	河流/湖泊相	温暖潮湿			T7
		晚白垩世	河流/湖泊相	亚热带气候			泰州组
		早白垩世晚期	河流相	干旱亚热带气候			赤山组
印支运动	三叠纪	晚侏罗世—早白垩世早期	冲积扇	?	断陷期前?	?	下白垩统
							青龙组
							象山组?

我国学者主要划分了 T2、T7、T8 3 个区域不整合面。T2 之上为新近系和第四系沉积;T2—T7 为古近系;T7—T8 以下为白垩系和侏罗系^[6, 39-42]。Shinn 等^[35]追踪了坳陷东部 kunsan 盆地 Es1、Es2 2 个区域整合面,将盆地划分为 SU-1、SU-2、SU-3 三套构造层。SU-1 构造层代表白垩系—始新统、SU-2 构造层代表下中新统、

SU-3 构造层代表中中新统一第四系。对比两国学者的分层方案,我国学者的分层方案显示白垩纪以来各时代地层均有沉积,韩国学者分层方案显示渐新统和上中新统缺失。笔者根据对坳陷内 124°E 以西地震剖面的追踪解释来看,两国学者的不整合界面尽管时代有所差异,但是可以相互对比的,其对应关系为 Es1 对应 T2 面。

白垩纪以来的沉积环境—古气候研究 晚白垩世以来北部坳陷整体为一套非海相地层,沉积物主要为浅灰—红褐色泥岩、红褐色砂岩、粉砂岩,某些层位为砂泥岩互层。上白垩统一古近系红层极为发育,上新统局部夹煤线,第四纪进入海侵阶段^[35],其沉积环境主要为冲积扇、三角洲、河流相和滨浅湖相 4 种类型。Yi 等^[4]根据孢粉组合恢复的古气候表明,北部坳陷晚白垩世—中始新世为温暖潮湿的气候;晚始新世为寒冷干燥气候;早—中中新世为温暖潮湿气候;上新世为干燥寒冷气候。

与板块碰撞有关的前陆盆地研究 前已述及印支期华北—扬子的碰撞导致苏鲁造山带的隆起,现今北部坳陷区在晚三叠世—侏罗纪为前陆盆地期^[5, 6, 39]。南黄海地区海相中、古生界逆冲断裂十分发育,方向上总体以 NE、NEE—EW 向为主,基本控制了南黄海地区中、古生界海相地层的主体构造轮廓,此外还包括一些反转断层^[43]。根据近年来南黄海地区的地震资料研究可以确认,南黄海北部地区最主要的一条逆掩推覆断层为千里岩断裂,表现为前震旦系变质岩逆掩推覆于古生界之上。逆冲推覆构造不仅发育在北部坳陷,同时在中部隆起也有极为发育。

断陷期下伏构造层研究 以 Tg 地震反射面(前震旦系变质岩顶面—晋宁运动构造面)和 T8 地震反射面(印支运动构造面)为界,将南黄海划分为 3 个大的构造层:即基底构造层;海相中、古生界构造层;陆相中、新生界构造层。其中,海相中、古生界构造层又以 T11 地震反射界面(加里东运动构造面)为界,进一步划分为海相下构造层、海相上构造层^[39]。加里东运动使南黄海地区发生强烈的隆升,导致下古生界地层遭受一定的剥蚀,志留系也遭到不同程度的剥蚀,缺失中、下泥盆统沉积。加里东运动构造面即志留系顶面(T11),还将作为一个重要的滑脱面而出现,滑脱面之下的震旦系—下古生界受后期构造运动改造

程度明显减弱^[43]。

盆地内伸展断层的半定量研究 通过对坳陷东北凹陷的伸展量和伸展速率计算得到东北凹陷中、新生代总的伸展量为 10 012 m,白垩纪的伸展量为 3 512 m,始新世的伸展量为 6 500 m,而这些各个阶段的伸展量足以表明东北凹陷的伸展主要发生在白垩纪初期和古近纪。取白垩纪的年龄从 99.6~65.5 Ma,古新世的年龄从 65.5~55.8 Ma,可得到东北凹陷整个发育过程中的平均伸展量速率为 0.225 mm/a;白垩纪的平均伸展速率为 0.103 mm/a;古新世的平均缩短速率为 0.670 mm/a^[42]。坳陷内其他构造单元还没有开展类似的半定量研究。

坳陷内反转断层及成盆动力学机制研究 北部坳陷的成盆机制主要可分为 2 类,一类将其归结于东亚盆地群的南北向伸展^[44],另一类主要归因于郯庐断裂及其分支断层的走滑活动^[35]。但 2 种解释都存在一些不足,近 SN 向的伸展作用可以较好地解释坳陷中的近 EW 向正断层的形成,但是对于坳陷内近 NE 向的逆断层不能给出很好的解释;这归因于郯庐断裂及其分支断层的走滑作用可以很好的解释东部 Kunsan 次盆地的挤压作用,但是对于坳陷西部的东西向构造走向无法作出合理解释。

3 研究展望

南黄海北部坳陷作为一个晚中生代以来发育起来的大型坳陷,近年来国内外学者的研究认识较之以往已经有了长足的进步,但除上文列举的研究成果外,目前北部坳陷构造地质学方面的研究还存在以下薄弱点:晚白垩世以来构造区划不统一;对于如何由侏罗纪前陆盆地转换为伸展盆地、坳陷充填史、沉积沉降中心迁移、坳陷 T7、T2 两个构造反转折面所反应的构造事件等问题都缺乏足够的认识;对新生代断裂系统、断层级次、构造样式及空间展布规律也缺乏相应的研究;对于坳陷南北两侧主控断层的活动过程、坳陷总沉降量、构造沉降量、总伸展量、伸展速率等缺乏定量分析。

针对北部坳陷构造研究方面存在的不足,笔者认为需从以下几方面开展研究:

(1) 地质背景分析 从区域上来看,北部坳陷的伸展作用和中国东部众多的新生代盆地基本

同时发育,因此,研究中国东部白垩纪以来的大地构造背景以及 Izanagi—Kula—太平洋板块的活动性质对于本次研究有重要意义,由此需细分出白垩纪以来坳陷周缘的活动阶段以及对坳陷内构造沉积的控制作用。对地质背景的研究可系统收集坳陷及邻区地质、地球物理(重力、航磁以及区域大剖面)资料,分析北部坳陷与周缘构造单元关系、区域地质演化史等。

(2) 坳陷结构几何学分析 对于北部坳陷构造的详细剖析是建立在对已有的地震资料精细解释基础上的。前文提及,中韩两国学者对地震分层方案有一定的差异,因此,有必要将本区东西部地震分层方案统一起来,并对每个界面的赋予明确的地质意义。在完成对过井标定大剖面解释的基础上,对全区所有地震测线连片进行解释。需编制坳陷内主要构造界面等 T0 图、SN 向大剖面图、主要断裂及相关构造分布图,应结合前人研究重新划分坳陷次级构造单元,再次分析坳陷内新生代断裂系统、断层级次、构造样式及空间展布规律。

(3) 坳陷构造运动学分析 结合坳陷结构几何学的分析,划分构造演化阶段、断裂活动期次,分析不同断裂对沉降—沉积充填过程的影响。从控盆动力学角度分析研究区新生代沉降—沉积中心的迁移规律,对于 SN 向大剖面可恢复构造演化剖面反映坳陷的演化历程。

(4) 动力学机制研究 结合前人研究,综合分析盆地形成的板块构造环境,建立盆地动力学模式。

总之,本区的构造研究工作,无论对于东亚陆缘断陷盆地群地球动力学机制分析、扬子—华北碰撞造山带垮塌研究以及南黄海油气勘探突破都有重要的科学和经济意义,亟待对坳陷内地质—地球物理资料进行重新分析研究。

参考文献:

[1] 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京:地质出版社, 2004: 166-180.

[2] Ren J, Tamakib K, Lia S, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas[J]. Tectonophysics, 2002, 344: 175-205.

[3] 许浚远. 东亚陆缘新生代盆地的相似性[J]. 石油实验地质, 1997, 19(4): 297-304.

[4] YI S, YI S, Batten D J, et al. Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the Northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and palae-

oenvironments[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2003(191): 15-44.

[5] 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.

[6] 姚永坚, 冯志强, 郝天珧, 等. 对南黄海盆地构造层特征及含油气性的新认识[J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 232-240.

[7] 任纪舜, 等. 南黄海盆地地质背景[R]. 北京:中国地质科学院地质研究所, 2009.

[8] 郝天珧, Mancheol S, 徐 亚, 等. 黄海地球物理场与深部构造——关于中朝与扬子块体边界结合带在海区位置的讨论[R]. 2008.

[9] 胥 颐, 李志伟, Kim K, 等. 黄海的地壳速度结构与中朝——扬子块体拼合边界[J]. 地球物理学报, 2009, 52(3): 646-652.

[10] Xu Z, Yang W, Ji S, et al. Deep root of a continent-continent collision belt: Evidence from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) deep borehole in the Sulu ultra-high-pressure (HP-UHP) metamorphic terrane, China [J]. Tectonophysics, 2009, 475: 204-219.

[11] 许志琴. 深俯冲和折返动力学——来自中国大陆科学钻探主孔及苏鲁超高压变质带的制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(12): 3 041-3 053.

[12] Zhang R Y, Liou J G, Ernst W G. The Dabie-Sulu continental collision zone: A comprehensive review[J]. Gondwana Research, 2009, 16(1): 1-26.

[13] 许志琴, 李廷栋, 杨经绥, 等. 大陆动力学的过去、现在和未来——理论与应用[J]. 岩石学报, 2008, 24(7): 1 433-1 444.

[14] 杨经绥, 许志琴, 张建新, 等. 中国主要的高压—超高压变质带构造背景[J]. 岩石学报, 2009, 25(7): 1 529-1 560.

[15] Faure M, Lin W, Le N. Where is the North China-South China block boundary in eastern China [J]. Geology, 2001, 29(2): 119-122.

[16] 韩宗珠, 肖 莹, 于 航, 等. 南黄海千里岩岛榴辉岩的矿物化学及成因探讨[J]. 海洋湖沼通报, 2007(1): 83-87.

[17] 王志才, 晁洪太, 杜宪宋, 等. 南黄海北部千里岩断裂活动性初探[J]. 地震地质, 2008, 30(1): 176-186.

[18] 黄宝春, 周桃秀, 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.

[19] 朱 光, 徐嘉伟. 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, 18(1): 73-79.

[20] 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.

[21] 任纪舜. 南黄海盆地地质特征及其演化[R]. 北京:中国地质科学院地质研究所, 2009.

[22] 王 丰. 南黄海盆地前三系地震地层层序及构造特征研究[D]. 青岛:山东科技大学, 2010.

[23] 陈宣华, 王小凤, 张 青, 等. 郯庐断裂带形成演化的年代学研究[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 215-220.

- [24] 胡望水. 郯庐断裂带及其周缘中生代盆地发育特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 51-58.
- [25] 龙汉春. 关于郯庐断裂巨大平移问题的商榷[J]. 华东地质学院学报, 1987, 10(1): 15-23.
- [26] 乔秀夫, 张安棣. 华北块体、胶辽块体与郯庐断裂[J]. 中国地质, 2002, 29(2): 337-345.
- [27] 唐新功, 陈永顺, 唐哲. 应用布格重力异常研究郯庐断裂构造[J]. 地震学报, 2006, 28(6): 603-610.
- [28] 王小民, 夏木林, Liou J G. 中国东部的含科石英榴辉岩带的发现——郯庐断裂平移作用的证据[J]. 中国区域地质, 1992(1): 88-91.
- [29] 徐嘉炜, 马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316-322.
- [30] 朱光, 王勇生, 刘国生, 等. 华北与华南板块的碰撞过程——郯庐断裂带周边的指示[R]. 2008.
- [31] 朱光, 徐嘉炜, 刘国生, 等. 下扬子地区沿江前陆盆地形成的构造控制[J]. 地质论评, 1998, 44(2): 120-129.
- [32] 许志琴, 曾令森, 梁风华, 等. 大陆板片多重性俯冲与折返的动力学模式——苏鲁高压超高压变质地体的折返年龄限定[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(5): 357-368.
- [33] 赵志新, 徐纪人, 许志琴. 上地幔三维S波速度结构与大别苏鲁超高压变质带俯冲折返机制探讨[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 157-164.
- [34] Zhang K, Cai J, Zhu J. North China and South China collision Insights from analogue modeling[J]. Journal of Geodynamics, 2006, 42: 38-51.
- [35] Shinn Y J, Chough S K, Hwang I G. Structural development and tectonic evolution of Gunsan Basin (Cretaceous Tertiary) in the central Yellow Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27: 500-514.
- [36] 曹珂. 中国陆相白垩系沉积特征与古地理面貌[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- [37] 赵广涛, 王德滋, 曹钦臣, 等. I-A型复合花岗岩体的热演化及其意义——以崂山花岗岩体为例[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(4): 296-302.
- [38] 张训华. 中国海域构造地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [39] 陈建文, 等. 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, 2010.
- [40] 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: 99-105.
- [41] 曲希玉, 陈建文, 徐淑艳, 等. 南黄海盆地北部拗陷白垩系地震相分析[J]. 世界地质, 2005, 24(2): 129-136.
- [42] 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.
- [43] 姚蓉, 罗开平, 杨长清. 南黄湖北部地区逆冲推覆构造特征[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 282-284.
- [44] 许浚远, 徐嘉炜. 郯庐断裂中段应变和位移的定量研究[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1993, 13(4): 419-422.

PROGRESS OF POST-CRETACEOUS STRUCTURE STUDIES IN THE NORTHERN DEPRESSIONS, SOUTH YELLOW SEA AND ADJACENT AREAS

LIAO Jing^{1,2}, ZHAO Hua³, ZHANG Wei³, LU Yuning³

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 3 Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100029, China)

Abstract: The northern depression of the South Yellow Sea is a large Cretaceous-Cenozoic rift basin developed on the basis of a foreland basin by Indosinian orogeny. A number of research work, including both domestic and abroad, have been devoted to the tectonics of the South Yellow Sea and the stratigraphic sequences and deformation-infilling process of the depression. In this paper, we summarized the main achievements of previous studies, and compared the similarities and differences of the stratigraphic classification system between the Chinese and South Korean scholars. Weakness of the present study is cited and problems, which need to be solved urgently, were raised. The research work will help us better understand the dynamic mechanism of rift basins in the East Asia and collapsing mechanism of the Yangtze-North China orogenic belt. Strategically, it is of significance to break the deadlock in oil and gas exploration in the South Yellow Sea.

Key words: Northern Depression; tectonic deformation; fault; dynamic mechanism