

南黄海北部盆地的断裂体系 特征与形成机制

马金全¹, 李祥权^{1*}, 许 红^{2,3,4*}

(1 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;

2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 国土资源部油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071;

4 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)

摘 要:研究认为,南黄海北部盆地断裂体系及盆地隆凹格局指示盆地具有明显的右旋扭动成盆性质;盆地断裂体系可以分为一级控盆断裂、二级控凹断裂及三级凹陷内伴生断裂 3 个级别,盆地内凹陷具单断箕状断陷、双断斜交断陷、双断平行断陷 3 种类型;先存近 EW 向印支期逆冲断裂负反转、燕山—喜山期 NE 向具走滑性质的千里岩控盆断裂及其派生的 NEE 向张扭断裂共同控制了南黄海北部盆地断裂体系展布特征及其独特的具多种凹陷结构类型、发育规模不等、分割性较强的盆地隆凹格局。

关键词:断裂体系;形成机制;南黄海北部盆地

中图分类号:P54

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.04002

在陆相断陷盆地,断裂系统控制着盆地的外部形态和内部特征,是最重要的构造因素^[1-4],盆地断裂系统取决于区域性构造应力场和大的构造事件,分析盆地断裂系统的几何学和运动学特征对于盆地演化历史与成盆机制研究具有重要的理论和实际意义^[5]。近年来,有学者从盆地构造层划分的角度对南黄海盆地的构造特征和演化历史做了分析^[6-9],而对于盆地断裂体系特征的研究较少,制约了对南黄海盆地的深入认识。基于这一

点,笔者选取南黄海北部盆地为研究对象,开展盆地断裂体系特征、盆地结构及形成机制等方面的研究。

南黄海北部盆地是指南黄海盆地中部隆起带以北的盆地部分,位于 34°50'~37°00'N、120°30'~125°30'E,北以千里岩隆起为界,南与中部隆起相邻,总面积约 51 000 km²^[10,11],可分为 9 个二级构造单元,其中包括 6 个负向构造单元和 3 个正向构造单元(图 1)。

1 区域地质背景

南黄海盆地位于下扬子地块东北部,为扬子地块向海域的延伸,是叠置于下扬子地台前震旦系变质岩基底上的一个多旋回叠合盆地^[12,13]。南黄海盆地北部以苏鲁造山带与华北地块相连,南以江山—绍兴断裂带与华南地块相接,东与朝鲜半岛的京畿地块相连,西与苏北盆地连为一体。

收稿日期:2016-01-05

基金项目:中国地质调查局项目(GZH201200510);国家重点基础发展研究计划(973 计划)(2012CB956004)

作者简介:马金全(1989—),男,在读硕士,主要从事海洋地质学与油气地质学研究。E-mail: 573673532@qq.com

*** 通讯作者:**李祥权(1976—),男,副教授,主要从事沉积盆地动力学、地震沉积学等方面的研究工作。E-mail: lxq@cug.edu.cn;许 红(1957—),男,博士,研究员,主要从事海域油气成藏与资源评价方面的研究工作。E-mail: qdxhong@163.com

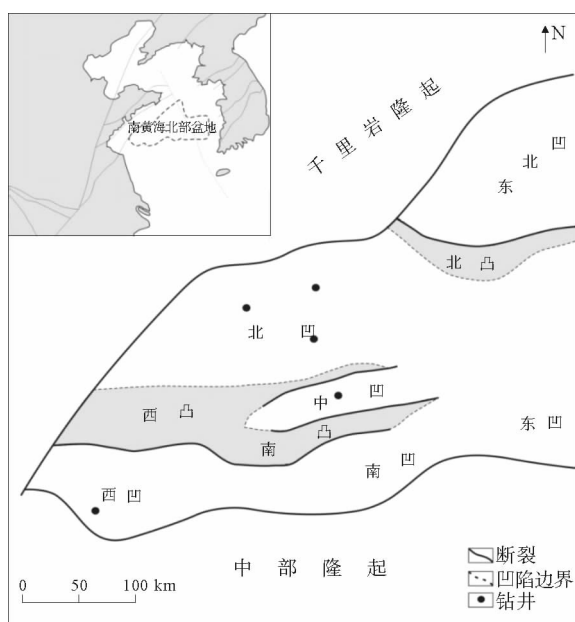


图 1 南黄海北部盆地构造单元划分示意图

Fig. 1 Sketch map of tectonic units of the northern South Yellow Sea Basin

盆地具双层基底结构及复杂的深部构造体系,在震旦系以来的地质演化过程中,经历了古亚洲、特提斯、太平洋多旋回的构造演化历程^[14],主要分为以下 5 个阶段:

(1) 震旦纪—早古生代克拉通盆地阶段

在震旦期,华南板块与扬子板块开始拼合,并逐渐成为一整体。之后,扬子陆块整体处于稳定克拉通环境中接受全面海侵沉积,经历了完整的早期裂陷充填—中期稳定沉降—晚期聚敛挠曲的盆地演化过程。志留纪晚期的加里东运动导致下扬子准地台普遍隆升,形成了广阔而稳定的后加里东地台,南黄海地区开始了晚古生代陆表海发育阶段^[15]。

(2) 晚古生代—中三叠世稳定地台阶段

在加里东运动之后,下扬子南北两侧的活动大陆边缘隆升,陆壳加厚基底稳定性增强,整体表现为稳定地台环境沉积。

(3) 隆起形成与剥蚀阶段

在三叠纪晚期,随着扬子板块与华北板块的拼贴碰撞,下扬子及邻区均进入了大陆板内形变演化阶段,地层抬升并遭受强烈挤压,海相沉积建造发生褶皱变形,地层遭受强烈剥蚀、改造。南黄海盆地漫长的海相沉积结束,开始进入后期陆相

沉积阶段。

(4) 陆相断陷盆地阶段

在中燕山期,黄桥转换事件之后,下扬子地区区域应力背景转化为 NW—SE 向的拉张作用^[16],在下扬子海相残留盆地和中生代前陆盆地改造的基础上产生陆相裂陷盆地群,发育一系列箕状断陷盆地,一直持续到渐新世中期。

(5) 陆相拗陷阶段

渐新世末期,由于太平洋板块的俯冲作用,盆地整体抬升(局部受强烈挤压变形),遭受剥蚀,大多缺失晚渐新世与早中新世地层。中中新世开始,盆地普遍开始沉降,接受沉积,发育了一个新的拗陷构造层。

2 盆地断裂级别分析

在地震资料解释、闭合的基础上,编制南黄海盆地断陷期断裂体系展布图(图 2)。从构造对盆地沉积格局控制的角度将盆地断裂分为 3 个级别,其中一级为控盆断裂,二级为控凹断裂,三级为凹陷内的伴生断裂。

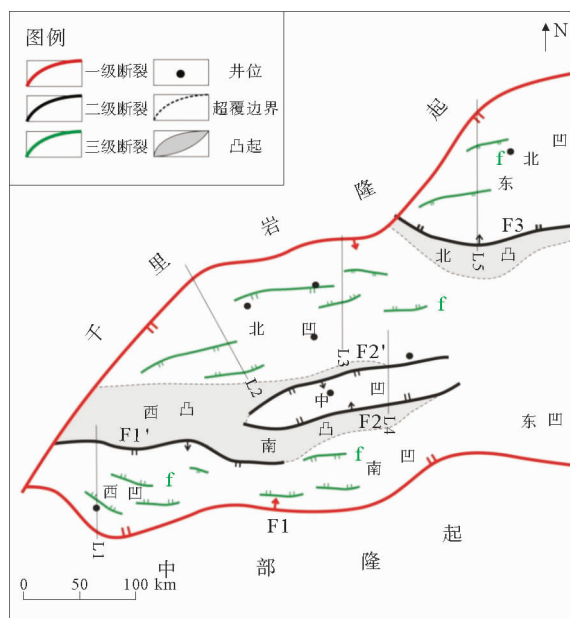


图 2 南黄海北部盆地断裂体系分级及展布

Fig. 2 Classification and distribution of fault system in the northern South Yellow Sea Basin

2.1 一级断裂

控盆断裂主要指盆地的边界断裂,南黄海北部盆地的控盆断裂有 2 条,分别为千里岩断裂(F0)和中部隆起北缘断裂(F1)。千里岩断裂为北部盆地和千里岩隆起的分界断裂,主体呈 NE—SW 走向,在研究区内延伸超过 200 km,是本区内规模最大的同沉积断裂。断面倾向 SE,剖面上为典型的上陡下缓的犁式断层特征,断层上盘可能发育次级同倾向犁式断层,向下收敛于千里岩断裂之上,形成断阶构造(图 3)。

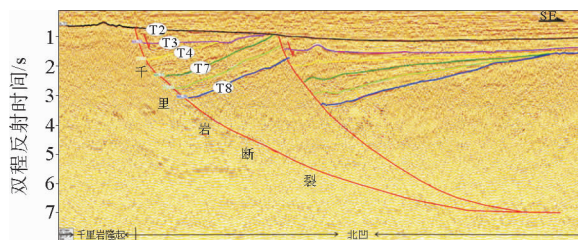


图 3 千里岩断裂剖面形态(测线 L2)

Fig. 3 The Qianliyan Fault(line 2)

中部隆起北缘断裂(F1)为北部盆地和中部隆起的分界断裂,走向为近 EW 向,其西端终止于千里岩断裂之上,与千里岩断裂整体呈 45° 左右的夹角,东端延伸超过 124°E 。剖面显示,F1 为北倾断层,断面平缓,向北延伸规模很大,表现出逆断层的剖面形态(图 4)。

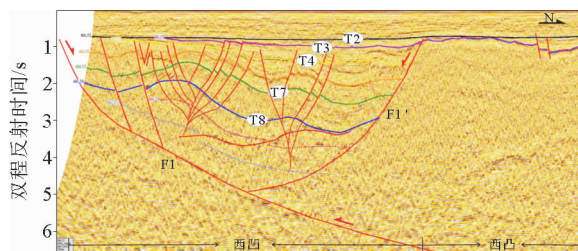


图 4 中部隆起北缘断裂 F1 剖面形态(测线 L1)

Fig. 4 Shape of fault F1 in Central Uplift(line 1)

2.2 二级断裂

二级断裂是控制南黄海北部盆地隆凹格局的断裂,为盆地内凸起和凹陷之间的边界断裂。主

要包括西凹北部控凹断裂 $F1'$,中凹南、北控凹断裂 $F2$ 和 $F2'$,东北凹南部断裂 $F3$ 等。这些断裂平面上主体呈 NEE 走向,断层倾向分南倾和北倾 2 类。此类断裂在剖面上也具有犁式特征,但产状较一级断裂略陡,且在剖面和平面上的规模也较一级断裂小(图 2、4)。

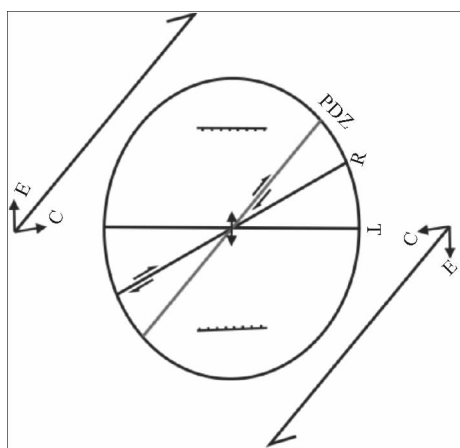
2.3 三级断裂

三级断裂是盆地内级别最低的断裂,发育于盆地次级凹陷内,主要为高级别断裂活动时产生的派生断列,规模较小,但数量众多。三级断裂虽不控制盆地的隆凹格局,但其对断裂形成期盆地的应力场具有较好的指示作用。平面上三级断裂与盆地二级断裂走向相近,主体为 NEE 走向(图 2),剖面上当三级断裂与一级断裂(尤其是千里岩断裂)相伴生时,断层数量往往较少,断面具犁式特征,断面倾向与一级断裂相同,向深部收敛于一级断裂之上(图 3、4)。当三级断裂远离一级断裂位于凹陷内部发育时,断裂数量往往较多,断裂倾向不一致,剖面上呈似“花状”组合特征(图 4)。

3 断裂组合特征及成因机制

经过上述分析,可以看出南黄海北部盆地断裂体系具有明显的组合及应力机制表现特征,盆地整体为一个三角形几何形态,千里岩断裂及中部隆起北缘断裂这 2 个一级断裂构成了盆地的南北边界,盆地断裂走向主要为 NE 向及 NEE 向(或近 EW 向)2 个方向,其中千里岩断裂是盆地内规模最大且最为重要的控盆断裂,呈 NE 走向。其他断裂主体呈 NEE 走向,与千里岩断裂呈“入”字型斜交样式,平面夹角约为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。平面上这种断裂组合关系表现出明显的以千里岩断裂为主走滑带、其他派生断裂与之斜向相交的右旋扭动成因关系(图 5)。

剖面上断裂组合主要表现为 2 种形式,一种是盆缘或凹缘与主干断裂张扭派生的同倾向犁式向深部收敛的组合关系(图 3、6);另一种是发育于凹陷内部具张扭特征的似“花状”组合关系(图 4、7)。



PDZ 为主走滑带;T 为主派生断裂带;R 为次派生断裂带

图 5 南黄海北部盆地断裂体系应力机制分析

Fig. 5 Stress mechanism analysis of fault system in the northern South Yellow Sea Basin

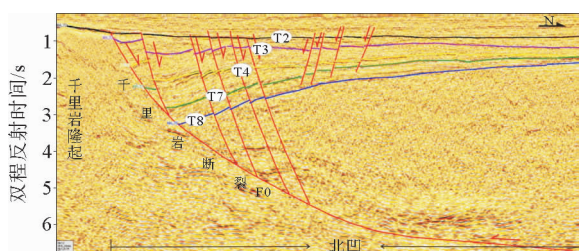


图 6 边界断裂与其派生断裂的组合(测线 L3)

Fig. 6 Relation of the boundary fault and its derived fault (line 3)

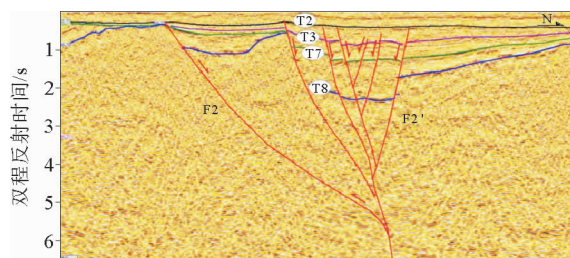


图 7 测线 L4 中凹段花状构造

Fig. 7 Flower structure in the Middle Sag, line 4

4 盆地凹陷结构类型及成因

4.1 盆地凹陷结构类型

蔺殿忠^[17]在研究渤海盆地黄骅坳陷王宫屯和济阳坳陷垦利入字型扭动构造中认为,与主干断裂相伴生的分支断裂具有倾向一致的特征,且各分支断裂所控制构造规模及结构具有相似性。南黄海北部盆地以 NE 走向的千里岩断裂为主干断裂,各控凹分支断裂呈 NEE 走向与之斜向相交,但各分支控凹断裂的倾向却表现北倾和南倾 2 种形式,同时各个凹陷的结构及规模差异也较大,这与典型扭动构造的特征有所不同。据此总结出南黄海北部盆地具单断箕状、双断斜交和双断平行 3 种凹陷结构类型(图 8)。

类型	印支逆冲期	燕山—喜山断陷期		特征描述	实例
		剖面结构	平面结构		
单断箕状式				箕状半地堑, 北断南超, 沉积规模大, 沉积中心靠近主干断裂	北凹
双断斜交式				斜向对倾双断控制, 三角形沉积, 沉积中心位于夹角处	东北凹
双断平行式				“Y”型地堑, 南北对倾双断控制, 窄条状沉积	西凹 中凹

图 8 南黄海北部盆地断陷结构类型模式

Fig. 8 Rift structure in the northern South Yellow Sea Basin

(1) 单断箕状断陷式

以盆地北凹为代表,该类凹陷表现为—侧由上陡下缓的犁式断层控制,另一侧地层超覆于凸起之上。控凹边界断裂为千里岩断裂的一部分,断陷构造层沉积较厚,凹陷规模相对较大,凹陷轴线平行控凹断裂走向,横向延展有限,整体为一窄

而深的箕状凹陷结构(图 3、6)。

(2) 双断斜交断陷式

以盆地东北凹为代表,该类凹陷表现为—侧由上陡下缓的犁式断层控制,另一侧由与之呈夹角对倾平直断层控制,沉积规模大,沉积中心靠近夹角的中轴线(图 9)。

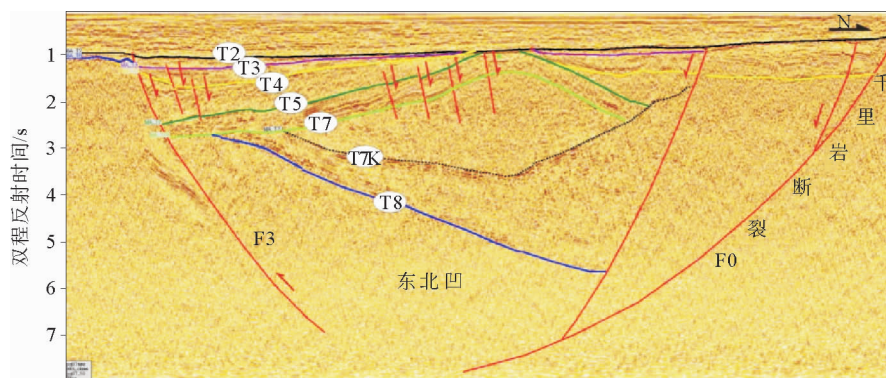


图 9 测线 L5 东北凹双断斜交断陷式凹陷结构特征

Fig. 9 Oblique double fault in Northeast Sag, line 5

(3) 双断平行断陷式

以盆地西凹、中凹为代表,该类凹陷表现为—侧由高角度铲式控制,另一侧由低角度平直断层控制,南北对倾,形成“y”型地堑,窄条状沉积,沉积中心在凹陷中轴部(图 4、7)。

地凹陷发育的规模上说,以千里岩控盆主干断裂为控凹断裂所形成的单断或双断凹陷规模相对较大,断陷较深,而以分支控凹断断裂形成的双断凹陷则表现为长条状窄而浅的断陷特征。

4.2 凹陷结构的多样性成因

那么如何解释南黄海北部盆地分支控凹断裂倾向的不一致性及与其对应的盆地凹陷结构的多样性呢?考虑盆地的构造演化、区域应力场及断面产状特征等因素,笔者认为,这些北倾的分支控凹断裂是印支期由北向南逆冲形成的先存逆冲断裂负反转形成,而那些南倾的分支控凹断裂为燕山—喜山期千里岩断裂控制的伸展张扭应力场背景下新生成的断裂,这 2 种分支控凹断裂造成了北部盆地断裂倾向、凹陷结构及规模的差异性。先存印支期逆冲断层的断面产状对后期负反转断层的断层产状具有一定的影响,如中部隆起北缘断裂在印支期可能是一大型的低角度逆冲断层,燕山—喜山期伸展断陷过程中沿早期的低角度逆冲断层负反转,因此,形成像西凹、东北凹这样两侧控凹断裂产状不对称的双断结构(图 8)。从盆

5 盆地断裂体系演化

如图 10,南黄海北部盆地断裂体系演化可以分为 2 个大的阶段。印支期在近 SN 向的挤压应力场下,形成近 EW 走向北倾的逆冲断裂体系(图 10a)。燕山—喜山期 NE 走向且具走滑性质的千里岩主干断裂在盆地内形成近 SN 向的张扭应力场,从而使先存印支期断裂发生负反转,形成北倾的正断层,其中规模较大的中部隆起北缘断裂构成北部盆地南部一级控盆边界断裂,而一些规模较小的逆冲断裂负反转则形成断陷期二级控凹断裂。除早期逆断层负反转之外,在凹陷内还生成了一些新的 NEE 走向与主干断裂斜交、南倾的二级控凹断裂以及凹陷倾向不定的三级断裂。因此,印支期近 EW 走向的逆冲断裂体系负反转、燕山—喜山期 NE 走向具走滑性质的千里岩断裂及其所派生的 NEE 走向右旋张扭断裂共

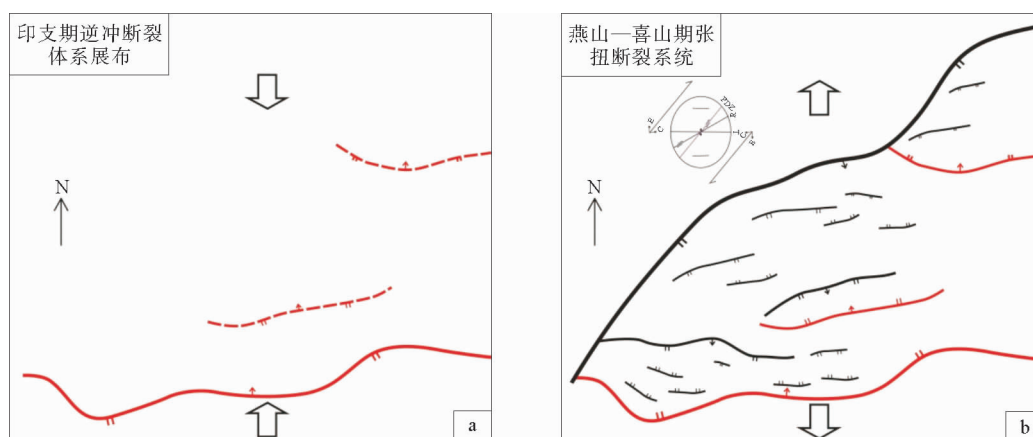


图 10 南黄海北部盆地断裂系统演化模式

Fig. 10 The evolution of the northern South Yellow Sea Basin fault system

同构成了南黄海北部盆地断陷期具右旋扭动表征的断裂体系,并造成了其独特的具多种凹陷结构类型、发育规模不等、分割性较强的盆地隆凹格局(图 10b)。

6 结论

(1)南黄海北部盆地断裂体系可以分为一级控盆断裂、二级控凹断裂及三级凹陷内派生断裂 3 个级别,盆地内的凹陷具有单断箕状断陷、双断斜交断陷、双断平行断陷 3 种结构类型。

(2)南黄海北部盆地断裂体系及盆地隆凹格局指示盆地具有明显的右旋扭动成盆性质。先存近 EW 向印支期逆冲断裂负反转、燕山—喜山期 NE 向具走滑性质的千里岩控盆断裂及其派生的 NEE 向张扭断裂共同控制了盆地断裂体系展布特征及其独特的具多种凹陷结构类型、发育规模不等、分割性较强的盆地隆凹格局。

参考文献:

- [1] Bally W. Musings over sedimentary basin evolution [M]. London: Philosophical Transactions of the Royal Society, 1982:325-336.
- [2] Wernicke B, Burchfiel C. Modes of extensional tectonics [J]. Journal of Structural Geology, 1982,4 (2):105-115.
- [3] Morley C H. Extension, detachments, and sedimentation in continental rifts (with particular reference to east Africa) [J]. Tectonics, 1989,8(6):1175-1192.
- [4] Magnavita L P, da Silva H T F. Rift border system: the interplay between tectonics and sedimentation in the Recôncavo basin, Northeastern Brazil [J]. AAPG Bulletin, 1955. 79(11):1950-1607.
- [5] 张翠梅,刘晓峰. 南堡凹陷边界断层及成盆机制[J]. 石油学报, 2012,33(4):582-587.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘寅,陈清华,胡凯,等. 渤海湾盆地与苏北—南黄海盆地构造特征和成因对比[J]. 大地构造与成矿学, 2014,38 (1):38-51.
- [9] 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(11):62-655.
- [10] 蔡乾忠. 黄海含油气盆地区域地质与大地构造环境[J]. 海洋地质动态, 2002,18(11):8-12.
- [11] 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):2-13.
- [12] 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.
- [13] 林年添,高登辉,孙剑,等. 南黄海盆地青岛坳陷二叠系、三叠系地震属性及其地质意义[J]. 石油学报, 2012,33 (6):987-995.
- [14] 张训华,张志珣,蓝先洪,等. 南黄海区域地质[M]. 北京:海洋出版社, 2003.
- [15] 姚永坚,夏斌,冯志强. 南黄海古生代以来构造演化[J]. 石油实验地质, 2005,27(2):124-128.
- [16] 庄建建,杨风丽,赵文芳. 下扬子区印支—早燕山期的构造特征及应力场模拟[J]. 高校地质学报, 2010,16(4):475-482.
- [17] 蔺殿忠. 渤海湾盆地断块体扭转翘倾及其形成机制的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1984(3):26-31.

CHARACTERISTICS OF THE FAULT SYSTEM IN THE NORTHERN SOUTH YELLOW SEA BASIN AND ITS FORMING MECHANISM

MA Jinquan¹, LI Xiangquan^{1*}, XU Hong^{2,3,4*}

(1 Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of

Geosciences, Ministry of Education, Wuhan 430074, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 3 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon

Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology,

China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 4 Laboratory for Marine Mineral Resources,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The fault system of the northern South Yellow Sea Basin and the uplifting and depression pattern of the basin suggest a clear dextral twist movement. The fault system can be classified into three levels: basin-controlling fault, sag-controlling fault and derived fault within a sag. There are three types of sag in the basin: single-faulted graben, oblique double-faulted rift and parallel double-faulted rift. The original inverse thrust faults nearly in EW direction, was formed in the Indosinian stage, and the Qianliyan fault in NE and its derived faults formed later in the Yanshan Himalayan period. All of the faults jointly controlled the distribution pattern of the fault system and the uplift-depression of the northern South Yellow Sea Basin.

Key words: fault system; formation mechanism; northern South Yellow Sea Basin

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部

2013 年 1 月 10 日