

莺歌海盆地与济阳拗陷成因机制 与沉积特征的比较及其油气勘探意义

万志峰¹, 夏斌^{1,2}, 林舸², 施秋华², 郭峰², 刘宝明³

1. 中山大学海洋学院, 广州 510275

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

3. 中海油研究总院, 北京 100027

摘要: 莺歌海盆地近10年来一直处于勘探低谷期。以比较研究为手段, 对莺歌海盆地与济阳拗陷形成演化机制进行了对比分析。研究表明, 二者具有诸多相似性: 均受控于大型先左旋后右旋的走滑断层, 盆地构造演化经历了断陷、断拗转换、拗陷阶段; 沉积-沉降中心均有迁移之规律, 发育多个沉积旋回, 沉积体系具有多样性; 均具有异常地层压力, 超压现象明显。因此, 可借鉴济阳拗陷油气勘探成功经验, 指导莺歌海盆地天然气成藏规律研究。

关键词: 成因机制; 沉积特征; 莺歌海盆地; 济阳拗陷; 油气勘探

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1671-5888(2011)04-0976-07

Comparative Study of the Formation Mechanism and Sedimentary Characteristic Between Yinggehai Basin and Jiyang Depression and Its Significance for Petroleum Exploration

WAN Zhifeng¹, XIA Bin^{1,2}, LIN Ge², SHI Qiuhua², GUO Feng², LIU Baoming³

1. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Research Center of China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100027, China

Abstract: Over the past decade, Yinggehai basin has been in a trough period of exploration. Based on the comparative study method, the formation and evolution mechanisms between Yinggehai basin and Jiyang depression have been analysed. Studies have shown that the two have many similarities: Both of which are controlled by large-scale after the first L-dextral strike-slip fault. The tectonic evolution experienced rift, rift-depression transform period, depression. Developed multiple deposition cycles, deposition and subsidence centers migrated. Depositional systems are diversity. Both have abnormal formation pressure. Therefore, using Jiyang depression successful experience in hydrocarbon exploration for reference to guide Yinggehai basin gas accumulation study will open up a new prospect for gas exploration in Yinggehai basin.

Key words: formation mechanism; sedimentary characteristics; Yinggehai basin; Jiyang depression; petroleum exploration

收稿日期: 2010-09-05

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB219401); 中国科学院广州天然气水合物研究中心课题(y007s4)

作者简介: 万志峰(1981—), 男, 湖北应城人, 博士后, 主要从事边缘海地质构造与油气成藏研究, E-mail: wanzhifeng01@gmail.com。

0 前言

比较研究在盆地构造与油气成藏研究中有着广泛的应用,地质学家通过不同区块、不同盆地之间的对比研究,更加客观全面地认识盆地构造、沉积、成藏特征,指出相同与异同点,对指导新区油气勘探具有重要的意义^[1-3]。

济阳拗陷经过近半个世纪的油气勘探,共发现 70 多个油气田,资源探明程度达 56.97%,已属中高勘探程度区^[4-5]。莺歌海盆地油气发现虽早,但近 10 年来,一直未获得较大突破,处于低谷期^[6-7]。笔者开展莺歌海盆地与济阳拗陷的对比研究,寻找二者共同点,以期借鉴济阳拗陷油气勘探成功经验,为莺歌海盆地天然气勘探提供依据。

1 成因机制对比

1.1 济阳拗陷成因机制

济阳拗陷位于渤海湾盆地南部,东临郯庐断裂带,南部为鲁西南隆起,北部和西部为埕宁隆起^[8-9]。在沉积、构造演化上明显受郯庐断裂走滑运动控制,具有岩石圈断裂边缘走滑拉张裂陷盆地的一般特点^[10-11]。

中生代至古近纪早期(42 Ma 之前),印度-澳大利亚板块向北漂移,扬子板块向北持续作用于华北板块之上;同时,太平洋板块北北西向俯冲,使北北东向的郯庐断裂带发生左旋走滑运动(图 1)。该时期,郯庐断裂带以西地区处于左旋剪切应力场,济阳地区发育了一系列雁行排列的北西向断裂控制的小型断陷盆地^[9,12]。

42 Ma 以后,库拉板块消失,太平洋板块由北北西向俯冲转变为北西西向俯冲,同时,印度-澳大利亚板块与欧亚板块碰撞,向华北板块施加北东向的挤压应力,使郯庐断裂带转为右旋走滑运动,致使渤海湾盆地处于右旋剪切拉分伸展的应力场中(图 2)^[13]。

1.2 莺歌海盆地成因机制

莺歌海盆地是在印支地块与华南地块缝合线(红河断裂)上发展起来的新生代沉积盆地,是红河断裂带在海域的延伸,其形成演化受控于红河断裂的走滑活动^[14-15]。

古新世-早中新世,印度-澳大利亚板块沿 NE-SW 向与欧亚板块碰撞,引起欧亚板块南缘呈岬角状凸出的印支地块向南东方向顺时针旋转挤

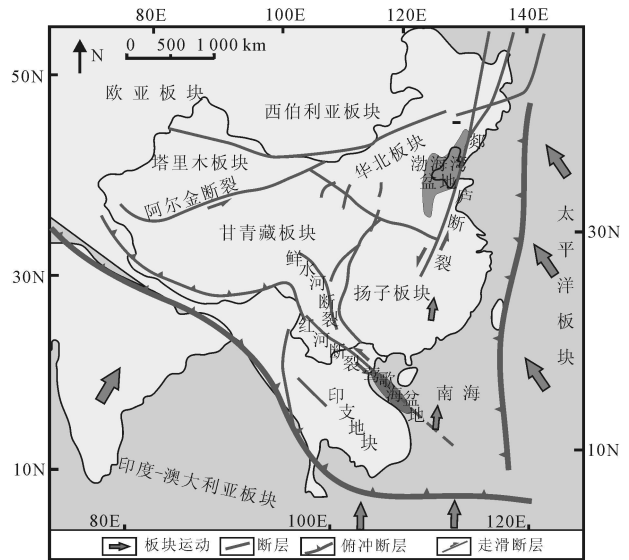


图 1 郯庐断裂与红河断裂左旋走滑动力学模式
Fig. 1 Dynamic model of Tan-Lu and Red River faults sinistral strike-slip

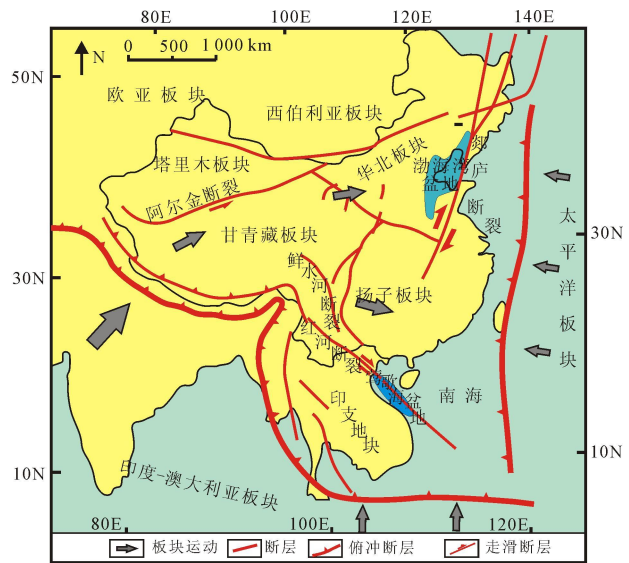


图 2 郯庐断裂与红河断裂右旋走滑动力学模式
Fig. 2 Dynamic model of Tan-Lu and Red River faults dextral strike-slip

出,而该时期华南地块相对稳定,导致红河断裂左旋走滑(图 1)^[16-18]。在这种 NW 向左旋走滑应力背景下,莺歌海盆地被拉开,盆地内正断层发育,产生一系列半地堑和雁行排列的南北向断裂,将盆地分割为几个不同的构造单元,并控制沉积作用。后期兼受地幔上涌等影响,盆地快速沉降,沉积厚度大^[19]。

中中新世-第四纪,随着印度-澳大利亚板块

逐渐楔入欧亚板块内部, 印支半岛处于相对稳定状态, 华南地块整体开始向东挤出, 使得红河断裂转换为右旋走滑, 莺歌海盆地处于右旋拉分应力背景(图 2)^[6, 20]。这一作用导致盆地岩石圈应力状态改变, 盆地北端构造反转, 沉降速度明显加快, 沉降中心依次向南东方向迁移, 沉降中心的轴向转为北西, 与现今盆地的方向基本一致。

2 构造演化规律对比

2.1 济阳拗陷构造演化特征

受郯庐断裂影响, 济阳拗陷中、新生代构造演化经历初始裂谷(中生代)、断陷(古新世—始新世, 即孔店组—沙河街组二段下亚段)、断拗转换(渐新世, 即沙河街组二段上亚段—东营组)、拗陷(新近纪, 馆陶组及以上地层)4 个阶段。

中生代初为初始裂谷阶段, 受郯庐断裂的影响, 济阳拗陷已初具雏形, 呈现出明显的隆凹块状构造格局, 并伴随有火山活动; 古近纪断陷阶段, 盆地内以 NE、EW 向伸展构造为主, 伸展量大, 断陷区不断扩大, 沉积物快速充填, 沉降中心均有向东、向南迁移的趋势; 古近纪末期断拗转换阶段, 断裂活动减弱, 盆地结构由不对称半地堑向近对称性转化, 盆地充填方式由快速充填向缓慢超覆转化, 沉积环境由稳定浅湖相向河流相转化; 新近纪济阳拗陷以区域性拗陷沉积为主, 原来的生长断层不再活动, 沉积中心消失, 形成统一的大型拗陷。

2.2 莺歌海盆地构造演化特征

莺歌海盆地受红河断裂影响, 新生代构造演化主要经历了裂陷(古新世—早渐新世)、断拗转换(晚渐新世—中新世)、拗陷(上新世—第四纪)3 个阶段。

裂陷阶段首先在主控断层连接区域形成早期断陷, 然后向两侧扩展, 形成一系列北西向正断层, 盆地西部发育南北向断裂, 东南端形成一些地堑地垒构造; 断拗转换阶段盆地发生快速沉降, 最大沉降速率达 0.6 mm/a, 拉张的构造背景、快速沉降作用以及高热流值, 导致莺歌海盆地泥底辟构造广泛发育; 拗陷阶段盆地发生构造反转, 沉降速度再次明显加快, 沉降中心向南东方向迁移, 盆地边界断裂有小规模的活动, 泥底辟构造活动达到高峰。莺歌海盆地与济阳拗陷构造演化特征对比情况见表 1。

表 1 莺歌海盆地与济阳拗陷构造演化特征对比

Table 1 Comparison of tectonic evolution between Yinggehai basin and Jiyang depression

年代	时间/ Ma	济阳拗陷			莺歌海盆地		
		地层	构造演化	主控断裂	地层	构造演化	主控断裂
第四纪	1.81	第四系	拗陷阶段	郯庐断裂走滑	第四系	拗陷阶段	红河裂旋走滑
上新世	5.32	明化镇组			莺歌海组		
中新世		馆陶组	断拗转换阶段	郯庐断裂走滑	黄流组	断拗转换阶段	红河裂旋走滑
					梅山组		
					三亚组		
					陵水组		
渐新世	23.8	东营组	断拗转换阶段	郯庐断裂走滑	崖城组	裂陷阶段	红河裂旋走滑
		沙一段	断陷阶段				
		沙二上		断陷阶段	郯庐断裂走滑	崖城组	裂陷阶段
		沙河街组	断陷阶段				
		沙二下		断陷阶段	郯庐断裂走滑	崖城组	裂陷阶段
		沙三段	断陷阶段				
		沙四段		断陷阶段	郯庐断裂走滑	崖城组	裂陷阶段
		孔店组	断陷阶段				
始新世	33.9			断陷阶段	郯庐断裂走滑	始新统	裂陷阶段
			断陷阶段				
古新世	55.8		断陷阶段	郯庐断裂走滑	古新统	裂陷阶段	红河裂旋走滑
			断陷阶段				
中生代	65.5	中生界	初始裂谷				

3 沉积演化特征对比

3.1 济阳拗陷沉积特征

在郯庐断裂带的控制下, 济阳拗陷中生代末期以来主要经历了燕山运动、济阳运动、东营运动的改造, 沉积演化具有如下特征^[21-22]:

沉降(积)中心 济阳拗陷最大沉降中心具有自西而东、自南而北迁移的特征。孔一段至沙四段沉积时期最大沉降中心位于惠民凹陷阳信地区, 沙三段至沙二段最大沉降中心移至东营凹陷, 沙一段至东营组全区沉降趋于平稳, 新近纪馆陶组最大沉降中心位于北部。沉积中心与沉降中心基本一致, 由南而北迁移, 主物源方向为湖盆长轴东西两端。

沉积旋回 济阳拗陷古近系具有多个沉积旋回: 温湿气候条件下的孔三段—孔二段沉积旋回、干旱气候条件下的孔一段—沙四段沉积旋回、湿润向干旱气候转变条件下的孔三段—沙二段沉积旋回、以湿润气候条件为主的沙一段—东营组沉积旋回^[22]。

沉积体系 济阳拗陷南北沉积不均衡, 发育多种沉积体系, 主要有沿盆地长轴方向发育的曲流河三角洲沉积体系, 沿缓坡带发育的辫状河三角洲沉积体系, 沿陡坡带发育的扇三角洲和近岸水下扇沉

积体系, 沿岸发育浅水滩坝沉积体系, 湖盆中央发育浊积流沉积体系。

地层压力特征 济阳拗陷异常高压现象较为普遍, 东营凹陷、沾化凹陷、车镇凹陷超压明显^[23-24]。垂向上, 浅部地层压力基本保持在静水压力带附近, 东营凹陷 2 250 m 开始普遍出现超压, 沾化凹陷为 2 400 m, 车镇凹陷为 2 350 m, 最高压力系数达 1.8。平面上, 出现超压的层位主要为沙三下亚段或沙四段, 主要围绕沉降、沉积中心分布。

3.2 莺歌海盆地沉积特征

莺歌海盆地具有巨厚的沉积层、较大的沉积-沉降速率、沉积沉降中心迁移、异常高温高压带等特征, 一直是地质学家关注的焦点^[6, 14, 25]。

沉降(积)中心 莺歌海盆地沉降过程与构造演化过程相对应, 早期沉降速度快(最高达 700 m/Ma)但较为短暂; 晚渐新世至中新世盆地经历了快速沉降阶段, 沉降速度大(最高达 600 m/Ma)且持续时间长; 上新世—第四纪盆地经历了断裂活动不明显的快速沉降过程。在整个沉积发育过程中, 沉积中心不断向东南方向迁移。36 Ma 前沉积盆地轴向为北西向, 尔后向南迁移, 至轴向为近南北向。然后沉积中心逐步向东南方向迁移, 直至 21 Ma。此后, 沉积盆地轴向又恢复为北西向。

沉积旋回 莺歌海盆地新生代发育 4 个沉积旋回: 海陆交互环境的始新统一崖城组沉积旋回、滨海—浅海沉积环境的陵水组沉积旋回、滨浅海—半深海沉积环境的三亚组—梅山组沉积旋回、浅海—半深海沉积环境的黄流组—莺歌海组沉积旋回。

沉积体系 莺歌海盆地主要发育 3 种沉积体系: 海岸平原—滨海—浅海沉积体系, 扇三角洲—浅海沉积体系, 三角洲—半深海沉积体系, 形成滨外砂坝、浅滩、风暴砂、陆架席状砂、浊积水道砂及滨海、三角洲相砂岩、盆底扇、斜坡扇等多种沉积砂体。

地层压力特征 莺歌海盆地中央拗陷带地层流体超压现象明显, 莺歌海组开始出现超压, 深度不到 2 000 m, 地层压力系数发生突变, 最高达 2.2。莺东斜坡带为正常压力区, 压力系数为 1.0~1.2。

莺歌海盆地与济阳拗陷沉积特征对比情况见表 2。

表 2 莺歌海盆地与济阳拗陷沉积特征对比

Table 2 Comparison of sedimentary characteristics between Yinggehai basin and Jiyang depression

比较类型	济阳拗陷	莺歌海盆地
沉积中心	具有自西而东、自南而北迁移的特征	沉积中心不断向东南方向迁移
沉积旋回	具有 4 个沉积旋回: 孔三段—孔二段、孔一段—沙四段、孔三段—沙二段、沙一段—东营组沉积旋回	3 个沉积旋回: 始新统一崖城组、陵水组、三亚组—梅山组、黄流组—莺歌海组沉积旋回
沉积体系	沉积体系多样性: 曲流河三角洲、辫状河三角洲沉积体系、扇三角洲、近岸水下扇、滩坝、浊积流	3 种沉积体系: 海岸平原—滨海—浅海沉积体系、扇三角洲—浅海沉积体系、三角洲—半深海沉积体系
地层压力	东营、沾化、车镇凹陷超压明显, 最高压力系数达 1.8, 主要为沙三下亚段或沙四段, 围绕沉降、沉积中心分布	中央拗陷带超压泥底辟构造发育, 1 600 m 开始出现超压, 最高压力系数达 2.2

4 讨论

4.1 莺歌海盆地与济阳拗陷比较研究意义

莺歌海盆地油气勘探经历了地质调查(20 世纪 50 年代至 70 年代中)、初期勘探(1974—1978 年)、对外合作(1979—1987 年)、加速勘探(1988—1997 年)、勘探低谷(1998 年至今)5 个阶段, 近 10 年来, 一直未获得较大突破^[7, 15]。

通过莺歌海盆地与济阳拗陷的对比研究可见, 二者有诸多相似之处: 它们同属欧亚板块边缘(中)新生代走滑拉张型沉积盆地, 二者形成演化机制有一定的共性, 均受控于走滑断裂, 先左旋后右旋, 动力学机制上一定程度地受控于印度—澳大利亚板块北移; 构造演化上均是经历了断陷、断拗转换、拗陷的演化过程; 沉积演化上均具有沉积中心迁移、多个沉积旋回、沉积体系多样性等特征。更为重要的是, 两地区均具有异常地层压力特征, 超压现象明显。

基于二者地质背景的相似性, 可以借鉴济阳拗陷油气勘探成功经验指导莺歌海盆地油气勘探。济阳拗陷经过半个多世纪的油气勘探形成了“源控论”^[26]、“复式油气聚集论”^[26]、“互补论”^[27]、“断坡控砂”模式、“复式输导”体系、“相势控藏”^[5, 28-29]等

理论以及计算机、物探、钻井、录井、测井等多学科交叉的油气勘探技术。因此,以济阳拗陷油气藏成熟的勘探技术来指导莺歌海盆地油气勘探,用多学科交叉集成的综合勘探技术从整体上重新定位莺歌海盆地的油气勘探方向,将会呈现出一个新的勘探局面。

4.2 莺歌海盆地与济阳拗陷的差异性

莺歌海盆地与济阳拗陷在形成机制、构造演化、沉积特征等方面虽然存在一定的相似之处,但二者存在深层次的差异性。在形成机制方面,二者均受走滑断裂控制,与印度—澳大利亚板块北移有关,同时,位于中国东部的济阳拗陷亦受太平洋板块俯冲影响,发生多次构造反转,如白垩纪末期、孔店组末期、砂四末期、东营末期;而位于南海西北部的莺歌海盆地除受红河断裂走滑主控外,亦与南海扩张相关,然而,南海的形成机制一直争论不休,其对莺歌海盆地裂隙与反转的影响有待进一步研究。在沉积特征方面,尽管两者均具诸多相似点,但莺歌海盆地不仅沉积速率大,且经历了始新世陆相湖盆到渐新统海陆交互以及后期海相沉积的演变过程,与济阳拗陷湖相为主的沉积特征有一定区别。特别是在地层压力方面,莺歌海盆地因其巨大的沉积速率,地层压力在莺歌海组就发生突变,急剧增加,而济阳拗陷地层压力是一个渐变的过程,且压力系数比莺歌海盆地小。因此,在借鉴济阳拗陷油气勘探成果经验的同时,也应特别注意莺歌海盆地的独特之处,在石油地质综合研究与勘探开发过程中要因地制宜。

5 结论

1) 莺歌海盆地与济阳拗陷同属欧亚板块边缘(中)新生代走滑拉张型沉积盆地,分别受控于红河断裂与郯庐断裂,受印度—澳大利亚板块北移及太平洋板块俯冲等的影响,走滑控盆断裂经历了从左旋到右旋的转变过程,盆地构造演化可分为断陷、断拗转换、拗陷等阶段。

2) 莺歌海盆地与济阳拗陷在沉积演化上亦具有诸多相似之处:沉积、沉降中心迁移;具有多个沉积旋回;沉积体系多样性,发育多种沉积砂体;两地区均具有异常地层压力特征,超压现象明显。

3) 基于莺歌海盆地与济阳拗陷形成演化机制与沉积特征的相似性,以济阳拗陷油气勘探成果经验为指导,从整体上重新分析莺歌海盆地天然气成藏特征,对莺歌海盆地天然气勘探具有重要的指示意义。

义。

参考文献 (References):

- [1] 高先志,柳广弟,刘震. 焉耆盆地与柴达木盆地侏罗系成烃及成藏时期的比较[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 413-424.
GAO Xian-zhi, LIU Guang-di, LIU Zhen. Difference in ages of petroleum generation and accumulation in the Jurassic between the Yanqi and Qaidam basins[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3): 413-424.
- [2] 龚再升,杨甲明,郝芳,等. 莺歌海盆地与琼东南盆地成藏条件的比较及天然气勘探方向[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2001, 26(3): 286-230.
GONG Zai-sheng, YANG Jia-ming, HAO Fang, et al. Difference in natural gas accumulation conditions between Yinggehai and Qiongdongnan basins and its implications for natural gas exploitation [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(3): 286-230.
- [3] 钱基. 苏北盆地油气田形成与分布: 与渤海湾盆地比较研究[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 12-17.
QIAN Ji. Oil and gas field formation and distribution of Subei basin: research compared to Bohai bay basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(3): 12-17.
- [4] 李丕龙,庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成: 以济阳拗陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
LI Pi-long, PANG Xiong-qi. Continental rift basin subtle reservoirs formation: a case Jiyang depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [5] 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731-739.
ZHANG Shan-wen. Exploration theory and practice of the Tertiary subtle reservoirs in Jiyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 731-739.
- [6] 龚再升,李思田. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
GONG Zai-sheng, LI Si-tian. Dynamic research of oil and gas accumulation in the northern margin basins of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [7] 何家雄,刘海龄,姚永坚,等. 南海北部大陆边缘盆地油气地质及资源前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
HE Jia-xiong, LIU Hai-ling, YAO Yong-jian, et al. Oil and gas geology and resource potential of marginal basins in northern South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [8] 王小凤,李中坚,陈柏林. 郯庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2000.

- WANG Xiao-feng, LI Zhong-jian, CHEN Bo-lin. Tan-Lu fault zone [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [9] 宗国洪,肖焕钦,李常宝,等. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 275-282.
- ZONG Guo-hong, XIAO Hua-qin, LI Chang-bao, et al. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(3): 275-282.
- [10] 王伟峰,陆诗阔,金强. 中国大陆东部盆地构造动力学分析[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(4): 1-5.
- WANG Wei-feng, LU Shi-kuo, JIN Qiang. Geodynamics of sedimentary basins in Eastern China [J]. Journal of the University of Petroleum Edition of Natural Science, China, 1999, 23(4): 1-5.
- [11] 周荔青,刘池阳. 深大断裂与中国东部新生代盆地油气资源评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- ZHOU Li-qing, LIU Chi-yang. Deep fault and Cenozoic basins in Eastern China oil and gas resource assessment [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [12] 侯贵廷,钱祥麟,蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(6): 845-851.
- HOU Gui-ting, QIAN Xiang-lin, CAI Dong-sheng. The tectonic evolution of Bohai basin in Mesozoic and Cenozoic time [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis, 2001, 37(6): 845-851.
- [13] 张岳桥. 晚新生代青藏高原构造挤出及其对中国东部裂陷盆地晚期油气成藏的影响[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 162-169.
- ZHANG Yue-qiao. Late Cenozoic squeezing out tectonism in Qinghai-Tibet Plateau and its impacts on late hydrocarbon accumulation in rift basins in Eastern China [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 162-169.
- [14] 张启明,张泉兴. 一个独特的含油气盆地: 莺歌海盆地[J]. 中国海上油气, 1987(1): 11-21.
- ZHANG Qi-ming, ZHANG Quan-xing. A unique oil and gas basins: Yinggehai basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 1987(1): 11-21.
- [15] 朱伟林. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- ZHU Wei-lin. Natural gas geology of continental margin basins in northern South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [16] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo P, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine [J]. Geology, 1982, 10: 611-616.
- [17] Northrup C J, Royden L H, Burehfiel B C. Motion of the Pacific plate relation to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia [J]. Geology, 1995, 23: 719-722.
- [18] 郭令智,钟志洪,王良书,等. 莺歌海盆地周边区域构造演化[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1): 1-12.
- GUO Ling-zhi, ZHONG Zhi-hong, WANG Liang-shu, et al. Regional tectonic evolution around Yinggehai basin of South China Sea [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(1): 1-12.
- [19] Xia Bin, Zhang Yan-hua, Cui Xue-jun, et al. Understanding of the geological and geodynamic controls on the formation of the South China Sea: a numerical modelling approach [J]. Journal of Geodynamics, 2006, 42: 63-84.
- [20] Sun Zhen, Zhou Di, Zhong Zhi-hong. Experimental evidence for the dynamics of the formation of the Yinggehai basin, NW South China Sea [J]. Tectonophysics, 2003, 372: 41-58.
- [21] 操应长. 济阳拗陷古近系层序地层及其成因机制研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.
- CAO Ying-chang. Research on Paleogene sequence stratigraphy and genesis of Jiyang depression [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [22] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992.
- WANG Bing-hai, QIAN Kai. Shengli oil geological research and exploration practice [M]. Dongying: Petroleum University Press, 1992.
- [23] 肖焕钦,刘震,赵阳,等. 济阳拗陷地温-地压场特征及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 68-70.
- XIAO Hua-qin, LIU Zhen, ZHAO Yang, et al. Characteristics of geotemperature and geopressure fields in the Jiyang depression and their significance of petroleum geology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 68-70.
- [24] 郑和荣,黄永玲,冯有良. 东营凹陷下第三系地层异常高压体系及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 67-70.
- ZHENG He-rong, HUANG Yong-ling, FENG You-liang. Anomalous overpressure system of Early Ter-

- tiary in Dongying depression and its petroleum geology significance[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(4): 67-70.
- [25] 孙珍, 钟志洪, 周蒂. 莺歌海盆地构造演化与强烈沉降机制的分析和模拟[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2007, 32(3): 347-356.
- SUN Zhen, ZHONG Zhìhong, ZHOU Di. The analysis and analogue modeling of the tectonic evolution and strong subsidence in the Yinggehai basin[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2007, 32(3): 347-356.
- [26] 胡朝元. 生油区控制油气田分布: 中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. *石油学报*, 1982, 3(2): 9-13.
- HU Chao-yuan. Source bed controls hydrocarbon habitat in continental basins, East China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1982, 3(2): 9-13.
- [27] 杜金虎. 二连盆地隐蔽油藏勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- DU Jīn-hu. Subtle reservoir exploration of Erlian basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [28] 李丕龙, 金之钧, 张善文, 等. 济阳坳陷油气勘探现状及主要研究进展[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 124.
- LI Pī-long, JIN Zhì-jūn, ZHANG Shān-wen, et al. The present research status and progress of petroleum exploration in the Jiyang depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 124.
- [29] 马中良, 曾溅辉, 王永诗, 等. 济阳坳陷“相势”耦合控制的内涵及其地质意义[J]. *石油学报*, 2009, 30(2): 176-182.
- MA Zhōng-liang, ZENG Jiān-huī, WANG Yǒng-shī, et al. Connotation of facies-potential coupling effect on reservoir in Jiyang depression and its geological significance[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(2): 176-182.
- [19] Masuda A, Nakamura N, Tanaka T. Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1973, 37(2): 239-248.
- [20] Allegre C J, Minster J F. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1978, 38(1): 1-25.
- [21] Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation[J]. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 1974, 22: 1-27.
- [22] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1986, 92: 181-193.
- [23] 邹和平, 王建华, 丘元禧. 广东南澳和莲花山韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. *地球学报*, 2000, 21(4): 356-364.
- ZOU Hē-píng, WANG Jiān-huá, QIU Yuán-xī. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Nan'ao shear zone and the Lianhuashan shear zone in Guangdong Province and their geological significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2000, 21(4): 356-364.
- [24] Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. *The Island Arc*, 1997, 6(1): 121-142.
- [25] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 南岭构造带的基本地质特征[J]. *地质论评*, 2006, 52(2): 251-265.
- SHU Láng-shù, ZHOU Xīn-mín, DÈNG Píng, et al. Principal geological features of Nanling tectonic belt, South China[J]. *Geological Review*, 2006, 52(2): 251-265.
- [26] 万天丰. 中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-103.
- WÀN Tiān-fēng. The tectonic stress field of intra-plate deformation and its application during Mesozoic and Cenozoic in Eastern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-103.

(上接 975 页)