

文章编号: 0253-2697(2015)03-0274-12 DOI:10.7623/syxb201503003

郯庐断裂带辽东凸起的形成与古辽中洼陷的瓦解

彭靖淞¹ 徐长贵¹ 吴奎¹ 黄晓波¹ 张如才¹ 邓君¹ 柳永军¹ 余一欣²

(1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452; 2. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室 北京 102249)

摘要:辽东凸起位于郯庐断裂渤海段的北部,西邻辽中洼陷,受新生代以来郯庐断裂带双动力源和多期次幕式活动的影响,其构造演化非常复杂,特别是辽东凸起的形成时间一直未有定论。为了解决这个问题,根据构造地质学新理论和方法(断层相关褶皱和沙箱模拟),通过辽东凸起周缘断裂系统变革、地层分布、正牵引褶皱轴面变化、不整合分布和滑塌湖底扇等方面论证了辽东凸起在东营组三段沉积末期(30.3Ma)开始反转形成,并依据构造演化首次提出了“大古辽中洼陷”的存在及其瓦解。在此基础上,结合沙箱模拟实验探讨了郯庐断裂斜向拉分及其走滑活动产生了局部范围内剧烈的差异沉降促成辽东凸起的“相对隆升”。

关键词:郯庐断裂;走滑;正牵引褶皱;古辽中洼陷;瓦解

中图分类号:TE122.14

文献标识码:A

Formation of Liaodong uplift and collapse of the ancient Liaozhong sag in Tan-Lu fault zone

Peng Jingsong¹ Xu Changgui¹ Wu Kui¹ Huang Xiaobo¹ Zhang Rucai¹ Deng Jun¹ Liu Yongjun¹ Yu Yixin²

(1. Tianjin Branch, CNOOC China Limited, Tianjin 300452, China; 2. Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism of the Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Liaodong uplift is located in the northern Bohai part of Tan-Lu fault zone, adjacent to the west of Liaozhong sag. The tectonic evolution of Liaodong uplift is extremely complicated as influenced by the double dynamic source and multi-stage episodic activities of Tan-Lu fault zone since the Cenozoic. In particular, the formation period of Liaodong uplift has still not been determined. Aiming at this issue, based on new theories and techniques in tectonic geology (fault-related fold theory and sandbox simulation experiment), this study proposes that the strike-slip inversion structure of Liaodong uplift had begun to develop from the depositional stage of the third member of Dongying Formation (30.3 Ma), which is demonstrated in terms of the marginal fracture system evolution, stratigraphic distribution, axial surface inflection point of normal drag folds, unconformity distribution as well as slump and sublacustrine fans. Further, the existence and collapse of the “ancient Liaozhong sag” is first presented herein through tectonic evolution analysis, based on which it is explored using sandbox simulation experiment that the partial and intense differential settlement caused by oblique pull-apart and strike-slip activities is contributed to the “relative uplift” of Liaodong.

Key words: Tan-Lu fault; strike-slip; normal drag folds; ancient Liaozhong sag; collapse

引用:彭靖淞,徐长贵,吴奎,黄晓波,张如才,邓君,柳永军,余一欣. 郯庐断裂带辽东凸起的形成与古辽中洼陷的瓦解[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 274-285.

Cite: Peng Jingsong, Xu Changgui, Wu Kui, Huang Xiaobo, Zhang Rucai, Deng Jun, Liu Yongjun, Yu Yixin. Formation of Liaodong uplift and collapse of the ancient Liaozhong sag in Tan-Lu fault zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 274-285.

郯庐断裂带是中国东部一条 NNE 向的岩石圈尺度巨型断裂带,其形成和演化对于中国东部乃至整个亚洲大陆的构造演化都起着至关重要的作用^[1-8]。新生代以来郯庐断裂带右旋走滑运动,切割了渤海湾盆地不同的构造单元,控制了盆地东部的几何学特征及基本构造格架^[9-11]。随着渤海油气勘探的不断深入,

新生代郯庐断裂带的构造运动及其对油气运聚的控制作用已有诸多论述^[12-19],但关于郯庐断裂带渤海辽东湾段的研究却较少,缺乏新生代郯庐断裂右旋走滑活动与周缘盆-岭演化关系方面的研究。

笔者根据断裂分析、断层相关褶皱和沙箱模拟实验等理论和方法,通过郯庐断裂带渤海辽东湾段辽东凸起

基金项目:国家重大科技专项“近海大中型油气田形成条件与分布”(2011ZX05023-006)资助。

第一作者及通信作者:彭靖淞,男,1984年4月生,2006年获成都理工大学学士学位,2009年获成都理工大学硕士学位,现为中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院勘探地质工程师,主要从事石油地质综合研究工作。Email: pengjs@cnooc.com.cn

周缘的构造样式与沉积充填的研究, 分析了辽东凸起的演化过程, 以期能够进一步明确郯庐断裂右旋走滑对辽东凸起形成及其周缘盆地演化的控制作用。

1 区域地质概况

研究区处在郯庐断裂带辽东湾段的北部, 位于下辽河拗陷辽中北洼的东部。整体上具有“两凹夹一凸”的构造格局, 辽东凸起居中, 被辽东洼陷和辽中洼陷所夹持。郯庐断裂的主干走滑断层辽中二号断层和辽东一号断层分别组成了辽东凸起的西部和东部边界(图 1, 图 2)。辽东凸起的形成演化控制了研究区大多数圈闭的形成, 影响研究区物源方向和沉积体系的展布, 且决定了辽东洼陷和辽东凸起的地质年龄及油气潜力, 所以辽东凸起形成的时间非常关键。

目前认为, 对于渤海湾盆地, 地幔上涌和郯庐断裂的走滑活动是其构造运动的双动力源^[20-23]。在双动力源的交互作用下, 郯庐断裂带新生代以来存在 4 期构

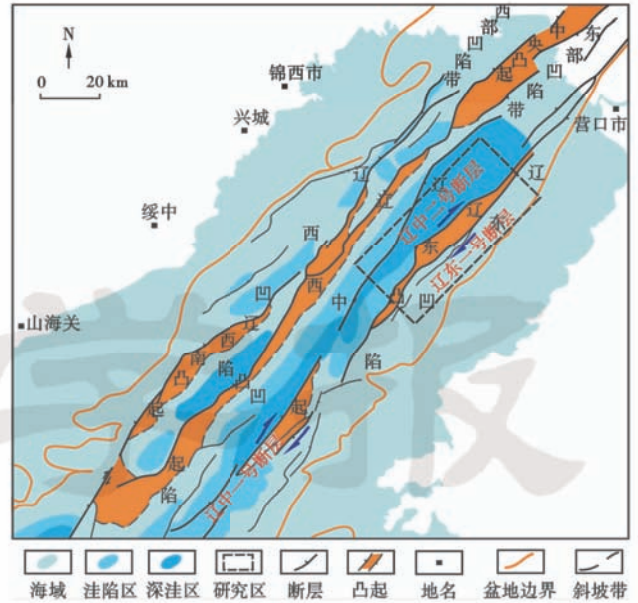


图 1 区域构造位置

Fig. 1 Location of regional tectonics

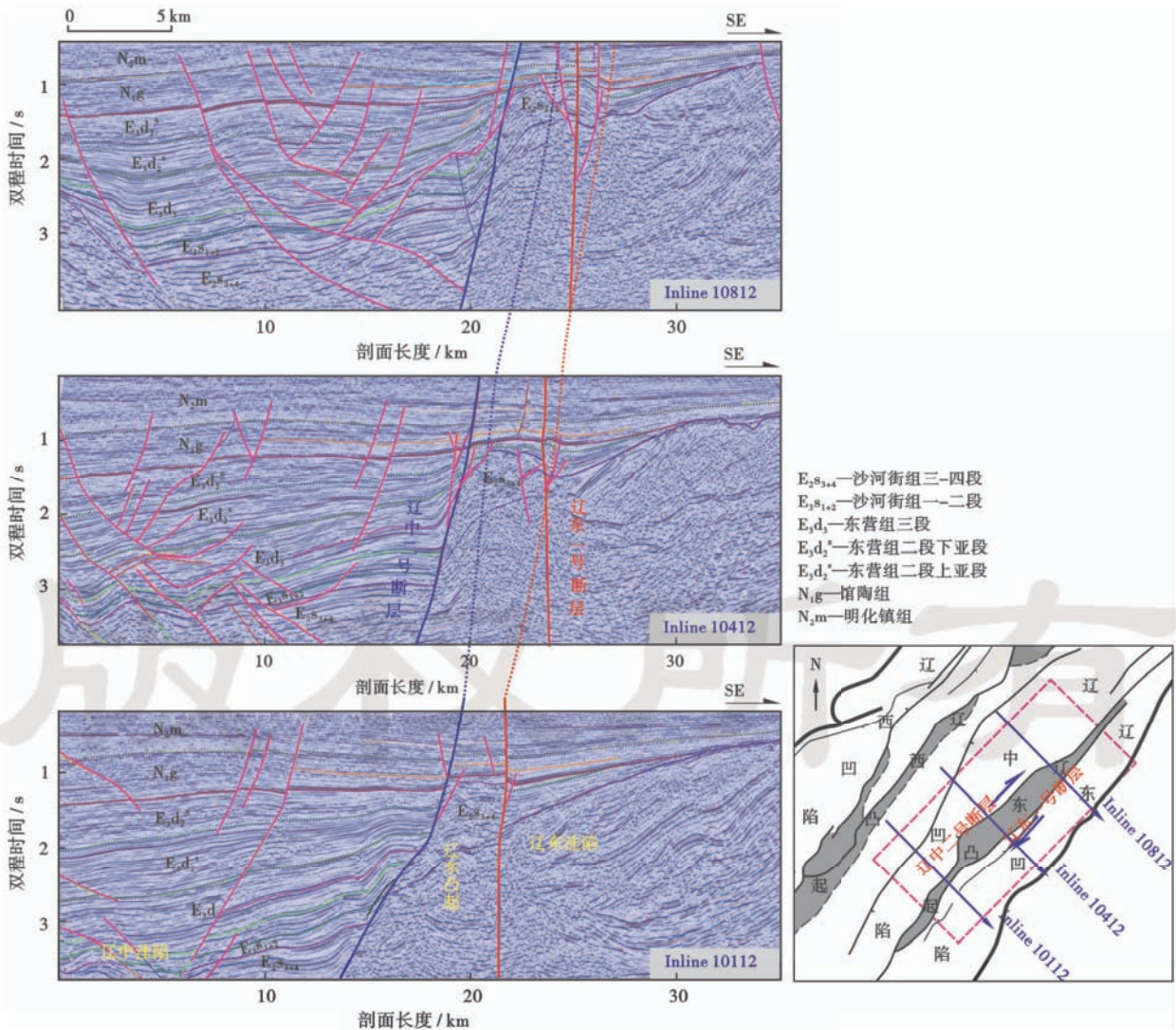


图 2 辽东湾北部构造格架地震解释对比剖面

Fig. 2 Seismic interpretation contrast section of tectonic framework of the northern Liaodong gulf

造运动^[9,24-28](表1):①古新世—始新世早期,即孔店组—沙河街组四段(沙四段)沉积时期发育裂陷I幕(65~42 Ma);②始新世沙河街组三段(沙三段)沉积期为裂陷II幕(42~38 Ma);③渐新世东营组沉积期是裂陷III幕(32~23.3 Ma);④上新世明化镇组—第四系沉积期,发生新构造运动(5.3 Ma至今)。双动力源、多期次的构造运动使郯庐断裂带,特别是辽东凸起邻区的构造演化变得非常复杂。因此,辽东凸起形成

表1 渤海地区新生代构造阶段划分
Table 1 Cenozoic tectonic stages in Bohai area

系	统	组	段	底界年龄/Ma	盆地构造演化幕	沉降速率/(m·Ma ⁻¹)
新近系	上新统	明化镇组	N ₂ m _S	5.3	新构造运动	40
			N ₂ m _X	12.0		30
	中新统	馆陶组	N ₁ g	23.3	裂后热沉降	50
古近系	渐新统	东营组	E ₃ d ₁	27.4	裂陷III幕	100
			E ₃ d ₂ ^S	30.3		120
			E ₃ d ₂ ^X	32.0		190
	始新统	沙河街组	E ₃ s ₁	36.0	裂后热沉降	80
			E ₃ s ₂	38.0		220
			E ₂ s ₃	42.0		150
古新统	孔店组	E ₁ k	65.0	裂陷I幕	150	

注:N₂m_S为明化镇组上段,N₂m_X为明化镇组下段,E₃d₁为东营组一段,E₃d₂^S为东营组二段上亚段,E₃d₂^X为东营组二段下亚段,E₃d₃为东营组三段,E₃s₁为沙河街组一段,E₃s₂为沙河街组二段,E₂s₃为沙河街组三段,E₂s₄为沙河街组四段,E₁k为孔店组。

的时间和机制一直存在很大争议。

2 主要构造变革

2.1 构造样式

构造样式几何学研究是构造演化研究的基础。研究表明,区内主要有3种类型的构造:伸展构造、走滑构造和走滑-伸展构造(图3)。

①在伸展构造中,常见铲式断层及其“Y”字型断层、顺向断阶、反向断阶、“入”字型断层和“X”型断层,这些构造样式广泛发育于辽中洼陷地区。

②走滑构造中,比较典型的是走滑卷入基底的直立断层、负花状构造和底辟构造,此类构造样式主要发育在辽东一号断层和辽中二号断层所夹持的走滑带及其周缘。

③很多情况下研究区两种类型的构造,很难独立出现,而表现出走滑与伸展两种构造的复合,如多级“Y”字型构造和似花状构造。这些复合成因的构造主要分布在辽中二号断层下降盘的陡坡带和辽中洼陷地区。

总的来说,伸展构造、走滑构造及走滑-伸展构造等构造样式,是渤海湾盆地两大动力源的具体表现^[20-28],正是这2种构造在时空上的叠加使研究区的构造演化变得十分复杂。

2.2 断裂活动速率

长期活动断层记录了盆地的主要构造发育史^[29,30],

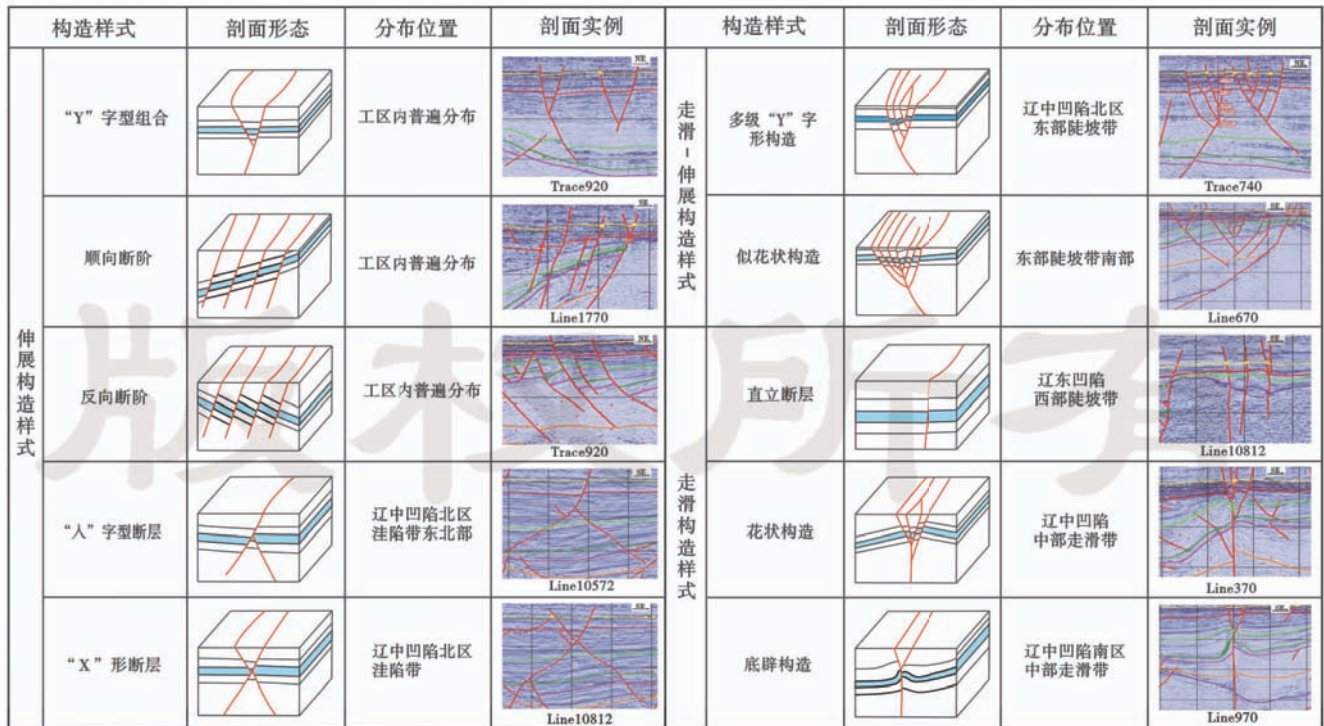


图3 辽东湾北部典型构造样式综合解析

Fig. 3 Comprehensive analysis of typical structure styles of the northern Liaodong gulf

笔者选取了研究区发育的几条长期活动的主要断层 F1、F2、F3 和 F4 断层作为研究对象。通过断层活动速率分析发现, 东营组三段(东三段)沉积末期—东营组二

段下亚段(东二下段)沉积早期(30.3~28.0 Ma)断层的活动速率最高, 断裂活动非常活跃, 之后断裂活动持续减弱, 到中新世早期(23.3 Ma)基本结束(图 4)。

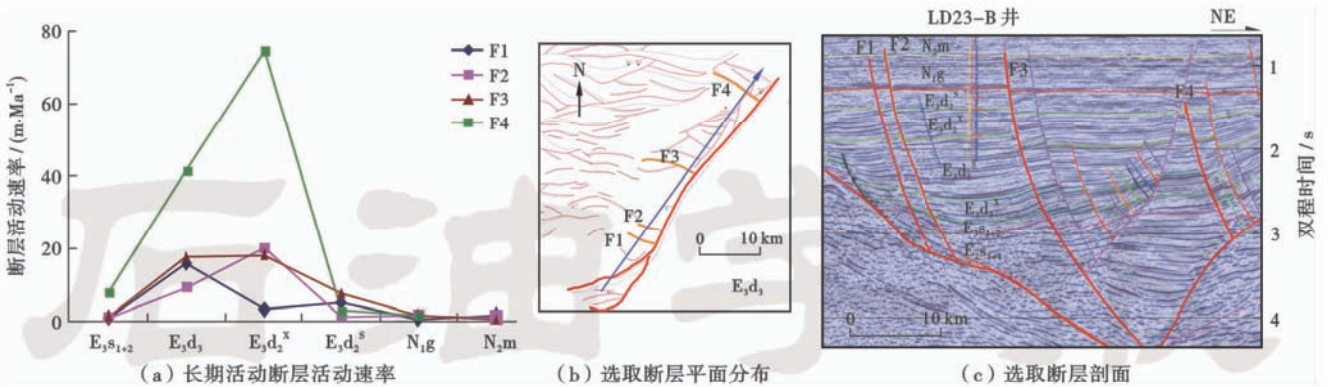


图 4 NW—SE 向长期活动断层特征

Fig. 4 Fault activity rate and seismic section of the northwest-southeast sustainable active faults

2.3 深、浅两套断裂系统

研究区具有深、浅两套断裂系统: 东三段沉积之前的地层主要记录了近 E—W 走向的伸展断裂系统; 东三段沉积之后的地层主要记录了 NE—SW 向的走滑断裂系统(图 5)。可见, 东三段沉积末期前、后区域应力发生了很大变化。

2.4 辽西二号断层走滑证据

关于郯庐断裂带右旋走滑开始的时间存在较大争议: 有的学者倾向于白垩纪—早第三纪之间郯庐断裂

就进入了右旋走滑, 即整个新生代以来都具有右旋走滑性质, 右旋走滑早于裂陷 I 幕^[31-34]; 有的学者倾向于这一区域应力场的转变始于始新世裂陷 II 幕^[35-37]; 有的学者认为走滑始于更晚的渐新世初期裂陷 III 幕^[38]; 有的学者认为走滑始于上新世新构造运动^[39]。

走滑断层的构造演化之所以难以研究, 是因为其各个时期的断距特别是水平断距很难确定^[40-43]。然而, 主走滑断层(辽中二号和辽东一号断层)上派生了一系列伸展断层, 由于走滑主干断层的发育控制了与

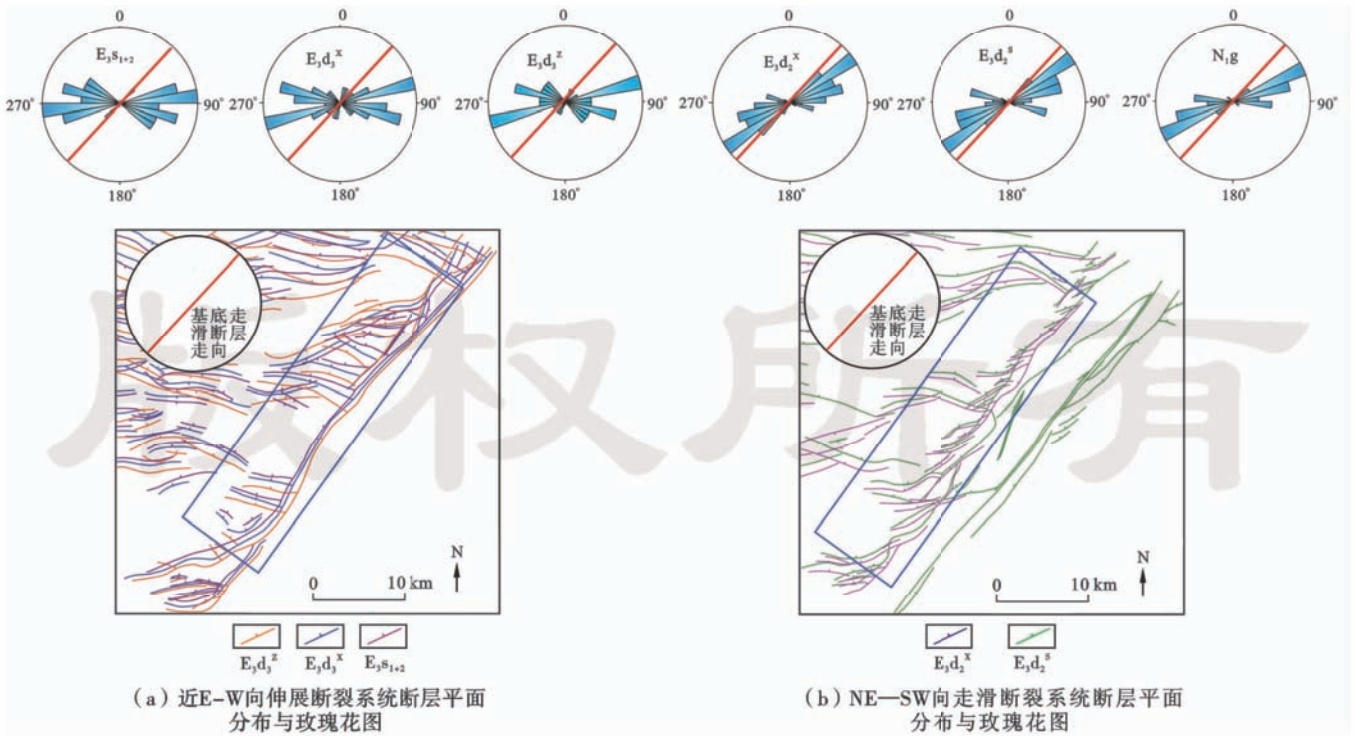


图 5 辽东湾北部深、浅两套断裂系统平面展布与断层走向玫瑰花图

Fig. 5 Plane distribution and rose diagram of deep and shallow fracture systems in the northern Liaodong gulf

其搭接的走滑派生断层的发育,加上走滑派生断层各时期的垂向断距易于分析,笔者尝试通过走滑派生断裂的活动史分析间接研究辽中二号走滑断层的演化。在这种思路指导下,通过辽中二号断层的走滑派生断层 F5、F6、F7 和 F8 的断裂活动史分析表明:研究区大规模的右旋走滑构造应该是在东三段沉积末期(30.3 Ma)开始的;在东二下段沉积期(28.0 Ma)走滑派生断层的活动速率最大,走滑运动达到高潮;到中新世早期(23.3 Ma)走滑派生断层活动速率明显下降,走滑活动基本结束(图 6)。这一结论与童亨茂等对辽河西部注

陷走滑开始时间的认识是一致的^[38]。

巧合的是,研究区右旋走滑活动开始的时间与断裂剧烈活动和断裂走向变化的时间都是在东三段沉积末期(30.3 Ma)。可见,东三段沉积末期(30.3 Ma)是一个非常特殊和关键的时期。在这个时期前后,走滑派生断裂大量发育,断裂剧烈活动,盆地加速伸展,断裂系统的走向由近 E—W 向变成了 NE—SW 向,郯庐断裂开始剧烈右旋走滑。笔者推测郯庐断裂右旋走滑导致了区域断裂活动强度的增加和断裂走向的变化。

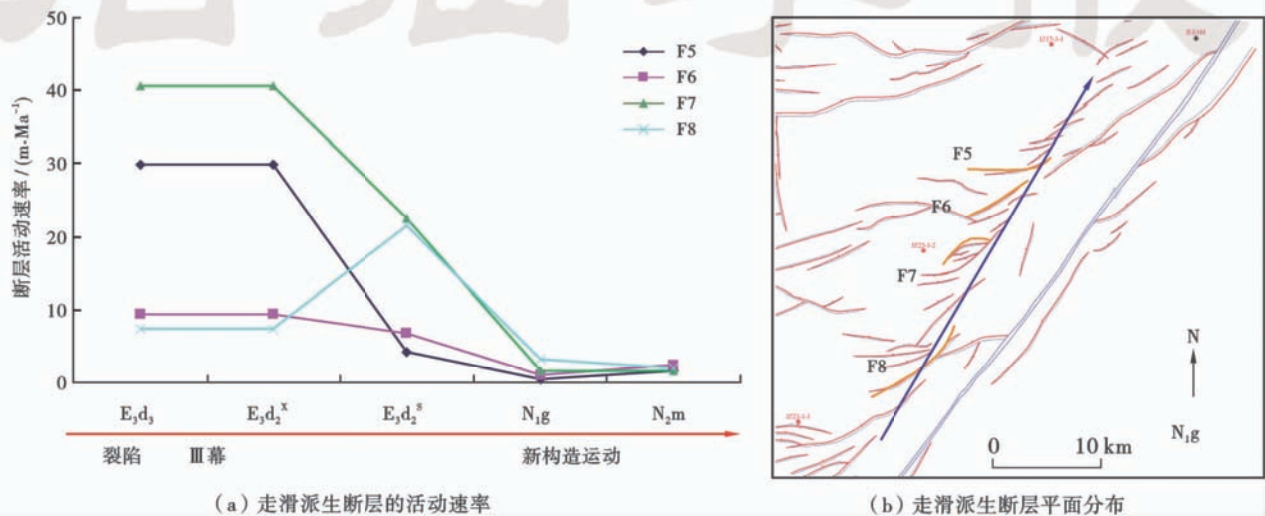


图 6 辽中二号断层的走滑派生断层活动速率与平面分布

Fig. 6 Fault activity rate and the plane distribution of strike-slip faults derived from the No. 2 Liaozhong fault

3 辽东凸起的隆升形成

在以上构造分析的基础上,通过对地层分布、断层相关褶皱、局部不整合和事件性沉积响应的综合研究表明,辽东凸起在渐新世早期(30.3 Ma)开始剧烈走滑隆升,具体证据如下。

3.1 东三段沉积末期辽东凸起隆升证据

3.1.1 地层分布

通过已钻井资料标定和地震解释表明,辽东凸起区古近纪沉积充填与辽中洼陷和辽东洼陷的古近纪沉积充填存在较大的区别。辽中二号断层西侧辽中洼陷发育较为完整的从孔店组—东营组二段(东二段)的古近系沉积,辽东二号断层东侧古近系自下而上充填在辽东洼陷之内并超覆在东部斜坡带之上(图 2、表 2)。辽东凸起上部为沙三段、沙四段+孔店组地层,凸起不整合之上存在古近系东二段的的部分地层,缺失了沙河街组一段(沙一段)、沙河街组二段(沙二段)—东二段下部的地层,表明该凸起区始新世晚期—渐新世早期存在沉积间断和剥蚀,进而推测研究区辽东凸起形成

时间应该在始新世晚期—渐新世早期之间,辽东凸起是一个“年轻的新生代潜山”。

表 2 辽东湾北部各构造单元地层分布情况

Table 2 Strata distribution of different structural units in the northern Liaodong gulf

地层	分布情况			构造运动
	辽中洼陷	辽东凸起	辽东洼陷	
新近系				
N ₂ m	有	有	有	新构造运动
N ₁ g	有	有	有	裂后热沉降
古近系				
E ₃ d	有	无	无	裂陷 III 幕
E ₃ d ₂ ^s	有	有	有	
E ₃ d ₂ ^x	有	有	有	
E ₃ d ₃	有	无	有	裂后热沉降
E ₃ s ₁ + E ₃ s ₂	有	无	有	
E ₂ s ₃	有	有*	有	
E ₂ s ₄ + E ₁ k	有	有*	无	裂陷 I 幕

注: * 为辽东凸起潜山地层。

3.1.2 断层相关褶皱

研究发现辽东带存在大量的断层相关褶皱,如走滑局部挤压形成的正牵引构造。考虑到走滑的局部挤压和挤压构造在构造成因上类似,且东、西两盘各自符

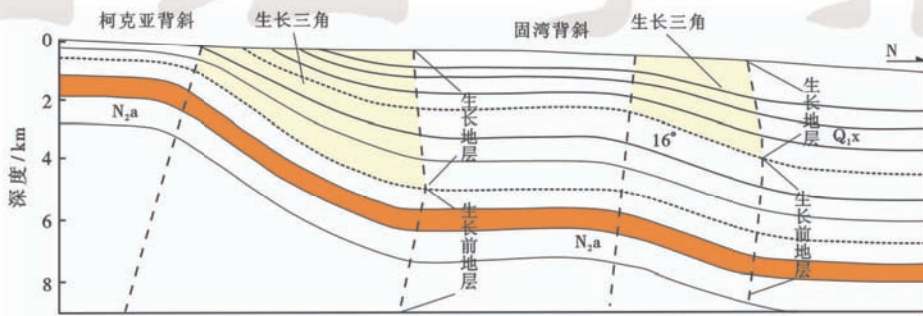
合面积守恒,因此笔者尝试通过对隆升相关的正牵引褶皱的构造几何学分析来确定辽东凸起的隆升形成时间。根据断层相关褶皱理论,在与隆升有关正牵引褶皱中,隆升之前沉积的地层在隆升过程中会膝折形成一个轴面,隆升过程中伴随着同构造沉积的地层会形成另外一个方向的轴面,轴面的拐点就能揭示隆升开始的时间^[44-46](图 7)。

按照这种方法,通过对本区隆升相关正牵引褶皱的研究发现,正牵引褶皱轴面的拐点出现在东三段顶部,表明辽东凸起是在东三段沉积末期(30.3 Ma)开始“隆升”形成。生长轴面在东三段顶部才基本消失,表

明辽东凸起的相对隆升过程一直持续到渐新世末期(23.3 Ma)才基本结束(图 8)。

3.1.3 局部不整合与辽东带地层减薄

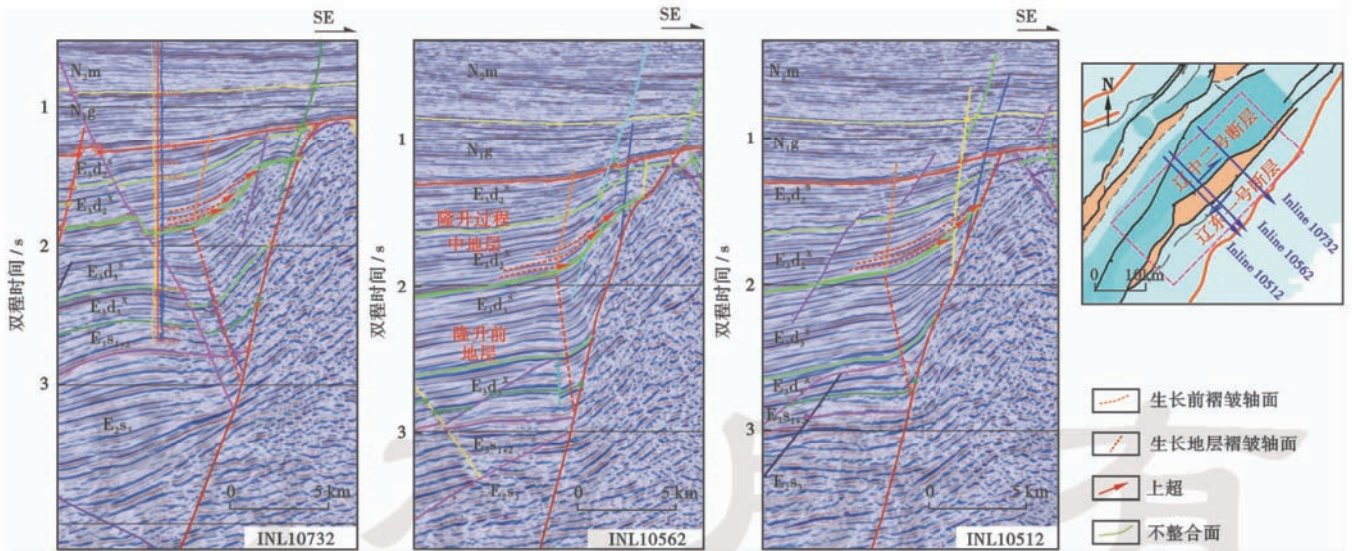
辽东凸起西部陡坡带东三段顶部普遍发育的上超不整合和凸起高部位东二段地层的披覆减薄亦表明东三段沉积末期(30.3 Ma)辽东凸起开始“隆升”形成(图 8)。需要注意的是这种不整合不像沙三段沉积末期和东营组沉积末期的不整合^[24-28]在下辽河凹陷广泛发育,而仅仅发育在研究区辽东凸起的周缘(表 2),表明辽东凸起的隆升是一个局部构造事件。然而,这个局部构造事件却导致了盆地构造格局的巨大变化。



注: Q_{1x}-下更新统西域组; N_{2a}-上新统阿图什组。

图 7 西昆仑山前柯克亚背斜、固满背斜生长地层剖面

Fig. 7 Tectonic profile of strata across Kekeya and Guman anticlines in the western Kunlun mountains



注:正牵引褶皱轴面的拐点揭示了凸起形成的时间为东三段沉积末期。

图 8 辽东湾北部正牵引褶皱生长时间地震解析剖面

Fig. 8 Seismic interpretation section of the development time of normal drag folds in the northern Liaodong gulf

3.1.4 事件沉积——滑塌、湖底扇

前人研究发现,剧烈构造运动导致的水深和斜坡坡角的加大、新的剥蚀区的形成、频繁的天然地震会形成大量滑塌和湖底扇沉积^[47-49]。研究区滑塌和湖底扇沉积主要集中分布在东二下段,这表明了辽东凸起剧

烈隆升在东三段沉积末期—东二下段沉积早期(30.3~28.0 Ma)达到高潮,这一时期辽东凸起剧烈隆升形成了新的物源区;斜坡带坡度变陡,沉积物的稳定性下降;再加上构造地震频繁,使东二下段形成大量的事件沉积——滑塌、湖底扇(图 9)。

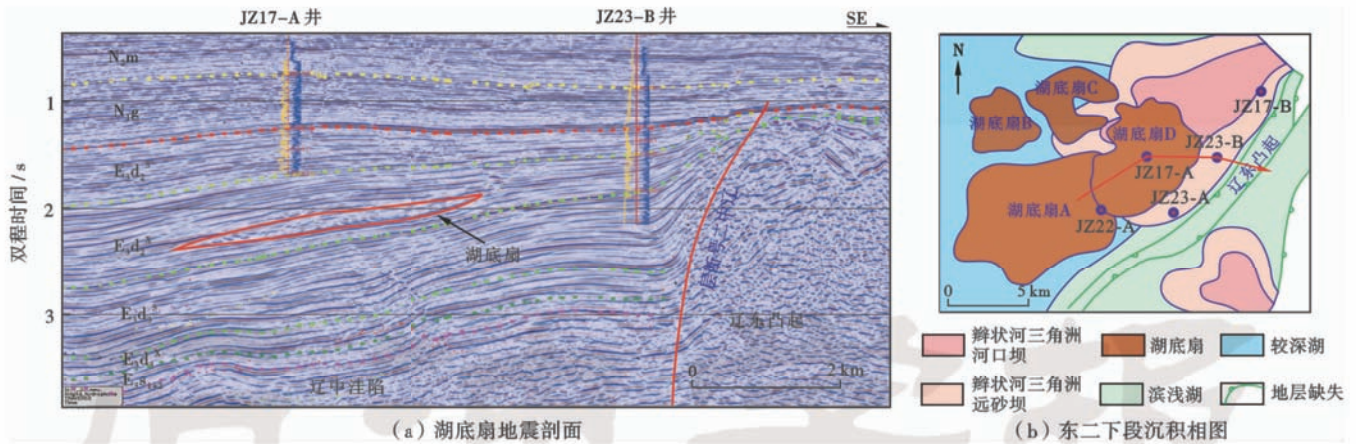


图9 辽东凸起西部的滑塌、湖底扇沉积地震解释剖面及平面特征

Fig. 9 Seismic interpretation section and plane distribution of the slump and sublacustrine fans in the western Liaodong uplift

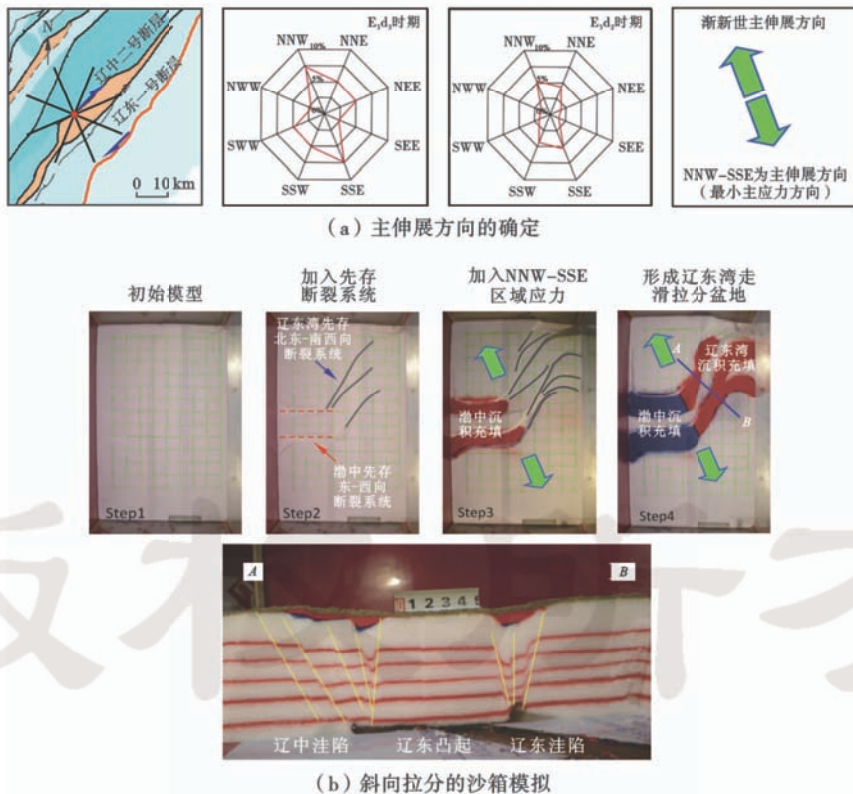
以上沉积充填和构造几何学分析证据表明,东三段沉积末期(30.3 Ma),辽东凸起开始剧烈隆升形成,这一过程在东二下段沉积早期达到高潮,并在渐新世末期(23.3 Ma)基本结束。

3.2 辽东凸起形成机制

综合以上研究发现,辽东凸起形成的时间与上文

提到的郯庐断裂右旋走滑及其周缘地区断裂剧烈活动和断裂走向改变的时间都是在渐新世早期(30.3 Ma)。辽东凸起的隆升过程与郯庐断裂大规模的右旋走滑在时间上同步,空间上也是叠加的。

另外,各个方向上的伸展系数分析表明渐新世的主伸展方向应该为NNW—SSE方向[图10(a)],这与



(b) 斜向拉分的沙箱模拟

注:(a)中主伸展方向根据渐新世各个方向上的伸展系数确定;(b)为渐新世郯庐断裂带及其周缘(辽东湾和渤中地区)在先存断裂系统约束下,斜向拉分及其被动右旋走滑控制下的盆地发育及沉积充填模拟,截面AB相当于辽东湾的沉积充填剖面;蓝色和红色充填相当于渐新世的沉积。模拟纵向比例尺为1:100000,横向比例尺为1:40000。

图10 郯庐断裂带斜向拉分沙箱模拟

Fig. 10 Sandbox simulation graph of the oblique pull-apart of Tan-Lu fault zone

郯庐断裂的走向存在一个约 30° 的交角, 相对于走滑断层这种伸展是一种斜向拉分。同时, 斜向拉分会产生垂向上和走向上 2 种位移分量, 这正好可以对应区域范围内的差异沉降和走滑构造运动。因此, 笔者假设辽东凸起的隆升、周缘的沉降与右旋走滑是一个统一的斜向拉分过程。

笔者通过先存断裂系统约束下郯庐断裂带斜向拉分的沙箱模拟实验证明了这个假设[图 10(b)]。该实验首先模拟布置了渐新世之前渤海湾盆地渤中地区近 E—W 向和辽东湾地区 NW—SE 向先存断裂系统。在此基础上, 模拟渐新世早期盆地的 NNW—SSE 向斜向拉分, 在此应力作用下, 辽东湾地区断裂剧烈活动, 发生伸展和走滑伴生的“盆-岭再造”, 发育了新的“垒-堑构造”, 辽东凸起形成。实验结果表明: 长距离、深切基底的斜向拉分可以促成局部范围内(郯庐断裂周缘)垂向的差异沉降和大规模走滑运动。也进一步证明了, 在渐新世早期(30.3 Ma)伴随着郯庐断裂剧烈的活动, 斜向拉分及其走滑活动产生了局部范围内剧烈的差异沉降, 促成辽东凸起的“相对隆升”形成。

3.3 渐新世早期古辽中洼陷的瓦解

通过以上研究发现, 辽东凸起是一个“年轻的新生代潜山”, 其形成时间(30.3 Ma)相对于中生代—新生代裂谷盆地辽东湾凹陷的形成时间是比较晚的。笔者推测, 渐新世之前, 存在过一个“古辽中洼陷”, 其面积应该远大于现今的辽中洼陷, 包含了辽东洼陷、辽东凸起和辽中洼陷的区域范围。渐新世早期(30.3 Ma), 辽东凸起走滑隆升, 反转形成后, 古辽中洼陷瓦解, 在这个盆-山耦合“盆-岭再造”的过程中^[50-51], 其东部形成了辽东凸起和辽东洼陷, 其中西部加速沉降形成了新辽中洼陷, 盆地的古地理格局发生了很大变化(表 3、图 11、图 12)。

表 3 裂陷 III 幕“盆-岭再造”前、后古地貌格局

Table 3 Paleogeography evolution of the third rifting episode before and after the basin-ridge reconstruction episode

时间	构造单元			形成机制
东三段沉积末期之前	古辽中洼陷			地幔上涌
	西部斜坡带 + 洼陷区主体	洼陷区东侧	东部斜坡带	
东三段沉积末期之后	辽中洼陷 (加速沉降)	辽东凸起 (反转形成)	辽东洼陷 (缓慢沉降)	走滑拉分 + 地幔上涌

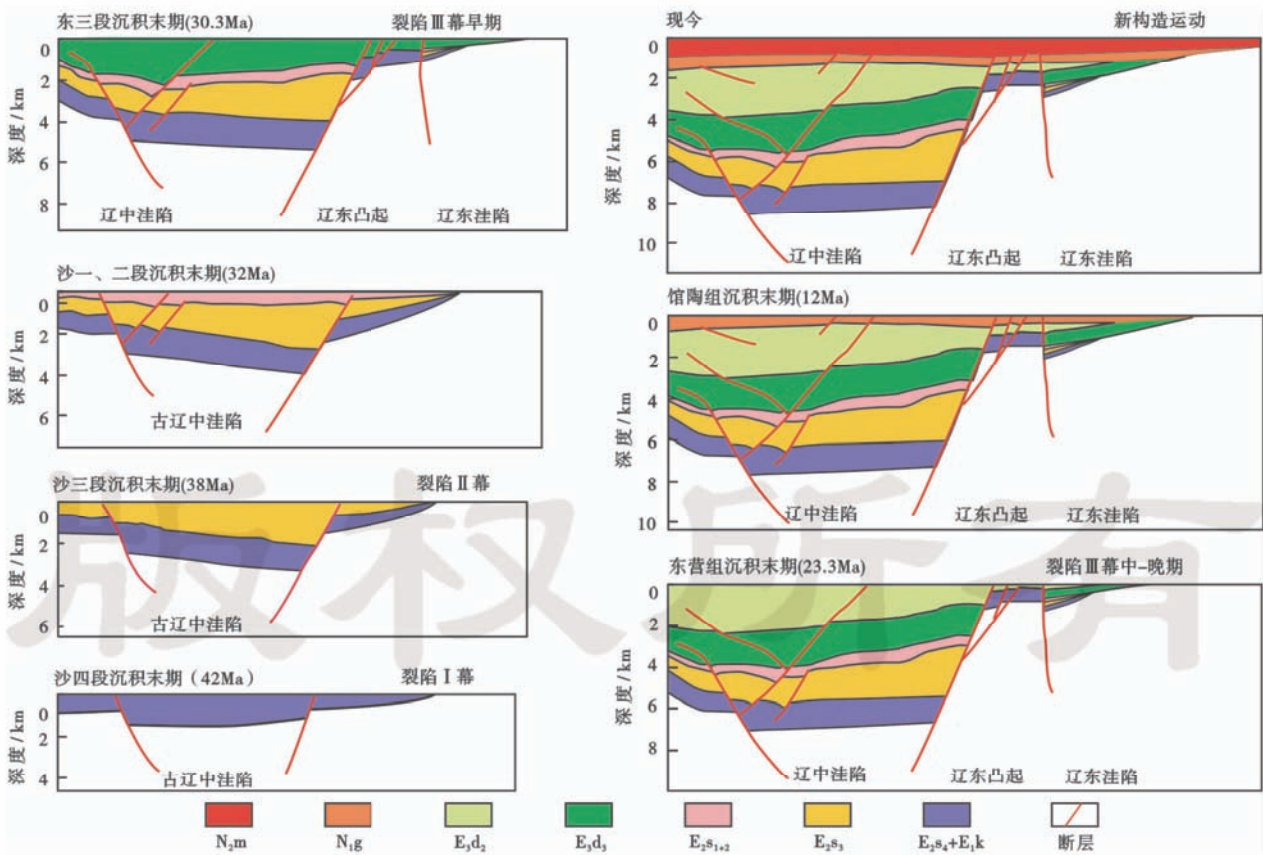


图 11 辽东湾北部构造演化剖面

Fig. 11 Tectonic evolution profile of the northern Liaodong gulf

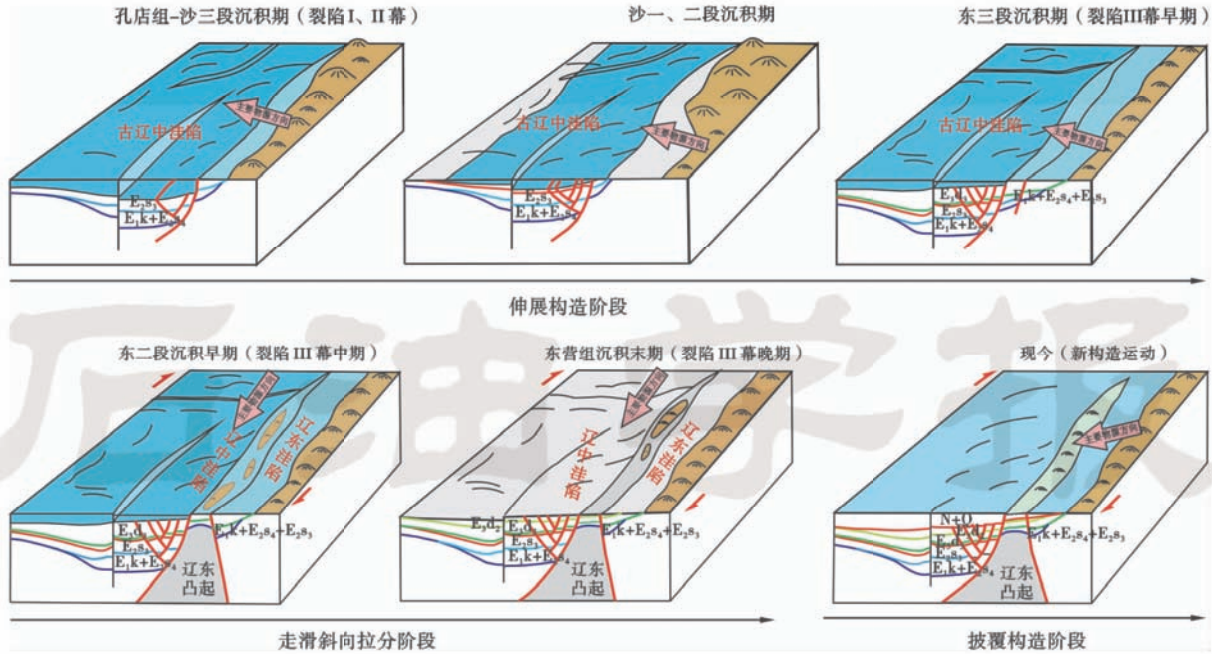


图 12 辽东湾北部古地貌演化示意

Fig. 12 Schematic diagram of paleogeography evolution in the northern Liaodong gulf

4 构造演化

总结以上内容并结合前人研究成果^[24-28],通过平衡剖面的制作得到辽东凸起的演化过程:古新世到渐新世早期,研究区主要经历了裂陷I幕和裂陷II幕,发育了近南北向伸展构造。东三段沉积末期(30.3 Ma),研究区经历裂陷III幕,发生了剧烈的斜向拉分、郟庐断裂右旋走滑,辽东凸起开始隆升形成,古辽中洼陷瓦解,这个过程由强到弱,一直持续到东营组沉积末期(23.3 Ma)。之后,在经历渐新世晚期—中新世早期(23.3~20 Ma)整体抬升剥蚀后,研究区进入热沉降阶段,发育披覆构造。之后,新构造运动虽然规模较小,但在一定程度上改造了早先形成的构造(图11、图12)。

5 油气地质意义

辽东凸起在东三段沉积末期(30.3 Ma)开始的隆升具有重要油气地质意义,具体如下:

(1) 辽东凸起在东三段沉积末期(30.3 Ma)之后走滑隆升形成,早于研究区的主排烃期东营组沉积末期(23.3 Ma)^[52],有利于油气在辽东带的聚集。

(2) 辽东凸起的走滑隆升控制主要物源方向和沉积体系的展布。东三段沉积末期辽东凸起形成之后,辽东凸起像一堵墙一样阻截了来至SE方向的物源,物源方向从SE方向变成了NE方向(图11)。对物源方向的认识为寻找优质储层指明了方向。另外,伴随辽东凸起的走滑隆升和反转形成,造成了大量的天然

地震,在东二下段形成了一系列强制性湖退背景下的湖底扇,这是岩性勘探的重要目标(图9)。

(3) 辽东凸起的走滑隆升造成了隆升前后伸展—走滑—披覆各阶段构造变形的纵向叠加和立体分布,形成了多种类型的圈闭。

6 结论

(1) 在东三段沉积末期(30.3 Ma)伴随着郟庐断裂剧烈的活动,斜向拉分及其走滑活动产生了局部范围内剧烈的差异沉降,促成辽东凸起的“相对隆升”形成。辽东凸起的隆升、周缘的沉降与右旋走滑是一个统一的斜向拉分过程。在这个盆-山耦合“盆-岭再造”的过程中,古辽中洼陷瓦解,其东部形成了辽东凸起和辽东洼陷,其西部加速沉降形成了新辽中洼陷,盆地的古地理格局发生了很大变化。

(2) 研究区的构造演化主要可以分为3个阶段(三期盆地的叠合):①东三段沉积期之前主要为伸展构造阶段;②东三段沉积期末(30.3 Ma)到渐新世末(23.3 Ma),伴随着郟庐断裂的右旋走滑,辽东凸起隆升并反转形成,盆地进入走滑斜向拉分阶段;③在经历渐新世晚期—中新世早期(23.3~20 Ma)整体抬升剥蚀后,盆地进入热沉降披覆构造阶段,晚期新构造运动(5.3 Ma)在一定程度上改造了早先形成的构造。

(3) 辽东凸起在东三段沉积末期(30.3 Ma)开始走滑隆升具有重要的油气地质意义,包括:①辽东凸起的走滑隆升形成早于研究区的主排烃期(23.3 Ma),有

利于油气在辽东带的聚集;②改变了区内主物源的方向,对沉积体系及其储层的展布起着重要影响;③辽东凸起的走滑隆升形成了多种类型的圈闭。

参 考 文 献

- [1] 徐嘉炜,朱光. 中国东部郯庐断裂带构造模式讨论[J]. 华北地质矿产杂志,1995,10(2):121-134.
Xu Jiawei, Zhu Guang. Discussion on tectonic models for the Tan-Lu fault zone, eastern China[J]. Jour Geol & Min Res North China, 1995, 10(2): 121-134.
- [2] 乔秀夫,张安豫. 华北块体、胶辽朝块体与郯庐断裂[J]. 中国地质,2002,29(4):337-244.
Qiao Xiufu, Zhang Anxiang. North China block, Jiao-Liao-Korea block and Tanlu fault[J]. Geology in China, 2002, 29(4): 337-244.
- [3] 朱光,王道轩,刘国生,等. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]. 地质科学,2001,36(3):269-278.
Zhu Guang, Wang Daoxuan, Liu Guosheng, et al. Extensional activities along the Tan-Lu fault zone and its geodynamic setting[J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(3): 269-278.
- [4] 朱光,刘国生,牛漫兰,等. 郯庐断裂带的平移运动与成因[J]. 地质通报,2003,22(3):200-207.
Zhu Guang, Liu Guosheng, Niu Manlan, et al. Transcurrent movement and genesis of the Tan-Lu fault zone[J]. Regional Geology of China, 2003, 22(3): 200-207.
- [5] Yin An, Nie S Y. An indentation model for the north and south China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, eastern Asia[J]. Tectonics, 1993, 12(4): 801-813.
- [6] Grimmer J C, Jonckheere R, Enkelmann E, et al. Cretaceous-Cenozoic history of the southern Tan-Lu fault zone: apatite fission-track and structural constraints from the Dabie Shan (eastern China)[J]. Tectonophysics, 2002, 359(3/4): 225-253.
- [7] 徐杰,牛嘉玉,吕悦军,等. 营口—潍坊断裂带的新构造和新构造活动[J]. 石油学报,2009,30(4):498-505.
Xu Jie, Niu Jiayu, Lü Yuejun, et al. Neotectonics and neotectonic activities of Yingkou-Weifang fault zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4): 498-505.
- [8] 漆家福,周心怀,王谦身. 渤海海域中郯庐深断裂带的结构模型及新生代运动学[J]. 中国地质,2010,37(5):1231-1242.
Qi Jiafu, Zhou Xinhui, Wang Qianshen. Structural model and Cenozoic kinematics of Tan-Lu deep fracture zone in Bohai Sea area[J]. Geology in China, 2010, 37(5): 1231-1242.
- [9] 刘池洋. 渤海湾盆地的构造演化及其特点[M]//西北大学地质系,西北大学地质系成立45周年学术报告会论文集. 西安:陕西科学技术出版社,1987:447-458.
Liu Chiyong. Tectonic evolution and its feature of Bohai Bay Basin[M]// Department of Geology, Northwest University. Proceedings of 45th anniversary of foundation of Department of Geology of Northwest University. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 1987: 447-458.
- [10] 漆家福,陈发景. 辽东湾-下辽河裂陷盆地的构造样式[J]. 石油与天然气地质,1992,13(3):272-283.
Qi Jiafu, Chen Fajing. Structural style in Liaodongwan-Xialiaohé Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(3): 272-283.
- [11] 杨桥,魏冈,马宝军,等. 郯庐断裂带辽东湾段新生代右旋走滑变形及其模拟实验[J]. 石油与天然气地质,2009,8(4):483-496.
Yang Qiao, Wei Gang, Ma Baojun, et al. Characteristics and modeling of the Cenozoic right-lateral slip deformation in the Liaodong Bay segment of the Tan-Lu fault zone[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 8(4): 483-496.
- [12] 龚再升,蔡东升,张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报,2007,28(4):1-10.
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 1-10.
- [13] 朱伟林,王国纯,周毅. 渤海油气资源浅析[J]. 石油学报,2000,21(3):1-7.
Zhu Weilin, Wang Guochun, Zhou Yi. Potential of petroleum resources in the offshore of Bohai bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 1-7.
- [14] 傅强,刘彬彬,徐春华,等. 渤海湾盆地黄河河口凹陷构造定量分析与油气富集耦合关系[J]. 石油学报,2013,34(增刊2):112-119.
Fu Qiang, Liu Binbin, Xu Chunhua, et al. The couple relationship of quantitative analysis of the structures and oil & gas accumulation in Huanghekou depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34 (Supplement 2): 112-119.
- [15] 周心怀,项华,于水,等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):17-19.
Zhou Xinhui, Xiang Hua, Yu Shui, et al. Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS Neo-Archean-metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 17-19.
- [16] 姜雪,吴克强,刘丽芳,等. 构造活动对富生油凹陷烃源岩的定量控制——以中国近海古近系为例[J]. 石油学报,2014,35(3):455-461.
Jiang Xue, Wu Keqiang, Liu Lifang, et al. Quantitative control of tectonic activity for source rocks in rich oil kitchen sags: a case study of Paleogene in China offshore[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35 (3): 455-461.
- [17] 徐长贵,周心怀,邓津辉. 渤海锦州 25-1 大型轻质油气田的发现与启示[J]. 中国石油勘探,2010,15(1):34-38.
Xu Changgui, Zhou Xinhui, Deng Jinhui. Discovery of large-scale Jinzhou 25-1 light oil & gas field in Bohai sea area and its enlightenment[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(1): 34-38.
- [18] 邓津辉,周心怀,魏刚,等. 郯庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系:以金县地区为例[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):102-106.
Deng Jinhui, Zhou Xinhui, Wei Gang, et al. Strike-slip faulting activities in the Tanlu fault zone and their relationship with hydrocarbon accumulation: an example from Jinxian area[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 102-106.
- [19] 张鹏,王良书,石火生,等. 郯庐断裂带山东段的中新生代构造演化特征[J]. 地质学报,2010,84(9):1316-1323.
Zhang Peng, Wang Liangshu, Shi Huosheng, et al. The Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution of the Shandong segment of the Tan-Lu fault zone[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(9): 1316-1323.

- [20] 滕吉文,张中杰,张秉铭,等. 渤海地球物理场与深部潜在地幔热柱的异常构造背景[J]. 地球物理学报,1997,40(4):468-480.
Teng Jiwen,Zhang Zhongjie,Zhang Bingming,et al. Geophysical fields and background of exceptional structure for deep latent mantle plume in Bohai Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1997,40(4):468-480.
- [21] 彭文绪,辛仁臣,孙和风,等. 渤海海域莱州湾凹陷的形成和演化[J]. 石油学报,2009,30(5):654-660.
Peng Wenxu,Xin Renchen,Sun Hefeng,et al. Formation and evolution of Laizhou Bay Sag in Bohai Bay[J]. Acta Petrolei Sinica,2009,30(5):654-660.
- [22] 何斌. 渤海湾复式盆地动力学探讨[J]. 石油实验地质,2001,23(1):27-30.
He Bin. On dynamics of the Bohai Bay complex faulted basin[J]. Experimental Petroleum Geology,2001,23(1):27-30.
- [23] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J]. 中国地质,2004,31(1):15-21.
Qi Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay Basin and their genetic interpretation[J]. Chinese Geology,2004,31(1):15-21.
- [24] 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 Guiting,Qian Xianglin,Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2001,37(6):845-851.
- [25] 黄雷,周心怀,刘池洋,等. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期——证据及区域动力学分析[J]. 中国科学:地球科学,2012,42(6):893-904.
Huang Lei,Zhou Xinhuai,Liu Chiyang,et al. The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: evidence and regional dynamics analysis[J]. Science China:Earth Sciences,2012,55(3):476-487.
- [26] 史卜庆,吴智平,王纪祥,等. 渤海湾盆地东营运动的特征及成因分析[J]. 石油实验地质,1999,21(3):196-200.
Shi Buqing,Wu Zhiping,Wang Jixiang,et al. A study on the geological characteristics and geodynamic origin of Dongying movement,Bohai Bay Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999,21(3):196-200.
- [27] 朱伟林,米立军,龚再升,等. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京:科学出版社,2009:38-44.
Zhu Weilin,Mi Lijun,Gong Zaisheng,et al. Oil-Gas reservoir and exploration in bohai Region [M]. Beijing: Science Publishing House,2009:38-44.
- [28] 漆家福,陈发景. 下辽河-辽东湾新生代裂陷盆地的构造解析[M]. 北京:地质出版社,1995:152.
Qi Jiafu,Chen Fajing. Cenozoic structure analysis of rift basin in Xialiaohu-Liaodongwan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House,1995:152.
- [29] 赵勇,戴俊生. 应用落差分析研究生长断层[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):13-15.
Zhao Yong,Dai Junsheng. Identification of growth fault by fault fall analysis[J]. Petroleum Exploration and Development,2003,30(3):13-15.
- [30] 刘建国,刘延峰,黎有炎,等. 惠民凹陷西部断层活动性研究[J]. 石油天然气学报,2009,31(4):195-199.
Liu Jianguo,Liu Yanfeng,Li Youyan,et al. Research on fault activity in the west of Huimin depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology,2009,31(4):195-199.
- [31] 万天丰,朱鸿. 郯庐断裂带的最大左行走滑断距及其形成时期[J]. 高校地质学报,1996,2(1):14-27.
Wan Tianfeng,Zhu Hong. The maximum sinistral Strike-Slip and its forming age of Tancheng-Lujiangfault zone [J]. Geological Journal of Universities,1996,2(1):14-27.
- [32] 王小凤,李中坚,陈柏林,等. 郯庐断裂带[M]. 北京:地质出版社,2000:1-222.
Wang Xiaofeng,Li Zhongjian,Chen Bailin,et al. The Tan-Lu fault zone[M]. Beijing: Geological Publishing House,2000:1-222.
- [33] 蔡东升,罗毓晖,姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. 石油学报,2001,22(2):19-25.
Cai Dongsheng,Luo Yuhui,Yao Changhua. Strike-slip and pull-apart structure study and its significance to petroleum exploration on Laizhouwan sag, Bohai area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001,22(2):19-25.
- [34] 张功成,朱伟林,邵磊. 渤海海域及邻区拉分构造与油气勘探领域[J]. 石油学报,2001,22(2):14-18.
Zhang Gongcheng,Zhu Weilin,Shao Lei. Pull-apart tectonic and hydrocarbon prospecting in Bohai Bay and it s nearby area[J]. Acta Petrolei Sinica,2001,22(2):14-18.
- [35] Hsiao L Y,Graham S A,Tilander N. Seismic reflection imaging of a major strike-slip fault zone in a rift system:Paleogene structure and evolution of the Tan-Lu fault system,Liaodong Bay,Bohai,offshore China[J]. AAPG Bulletin,2004,88(1):71-97.
- [36] 韩文功,季建清,王金铎,等. 郯庐断裂带古新世-早始新世左旋走滑活动的反射地震证据[J]. 自然科学进展,2005,15(11):1383-1388.
Han Wengong,ji Jianqing,Wang Jinduo,et al. Seismic reflection evidence for sinistral strike-slip movement of Tan-Lu fault zone from the Paleocene to the Early Eocene[J]. Progress in Natural Science,2005,15(11):1383-1388.
- [37] 朱光,宋传中,王道轩,等. 郯庐断裂带走滑时代的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究及其构造意义[J]. 中国科学 D辑:地球科学,2001,31(3):250-256.
Zhu Guang,Song Chuazhong,Wang Daoxuan,et al. Studies on ⁴⁰Ar/³⁹Arthermochronology of strike- slip time of the Tan- Lu faultzone and their tectonic implications[J]. Science in China Series D;Earth Sciences,2001,31(3):250-256.
- [38] 童亨茂,宓荣三,于天才,等. 渤海湾盆地辽河西部凹陷的走滑构造作用[J]. 地质学报,2008,82(8):1017-1126.
Tong Hengmao,Mi Rongsan,Yu Tiancai,et al. The strike -slip tectonics in the western Liaohe depression,Bohai Bay Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2008,82(8):1017-1126.
- [39] 朱光,刘国生,牛漫兰,等. 郯庐断裂带晚第三纪以来的浅部挤压活动与深部过程[J]. 地震地质,2002,24(2):265-277.
Zhu Guang,Liu Guosheng,Niu Manlan,et al. Post-eogene compressive activities on the Tan-Lu fault zone and their deep processes[J]. Seismology and Geology,2002,24(2):265-277.
- [40] 徐嘉炜. 论走滑断层作用的几个主要问题[J]. 地学前缘,1995,

- 2(1/2):125-136.
 Xu Jiawei. Some major problems on strike-slip faulting[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(1/2): 125-136.
- [41] 王义天, 李继亮. 走滑断层作用的相关构造[J]. *地质科技情报*, 1999, 18(3): 30-34.
 Wang Yitian, Li Jiliang. Fault-related tectonics of the strike-slip faulting[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1999, 18(3): 30-34.
- [42] 余朝华, 韩清华, 董冬冬, 等. 莱州湾地区郯庐断裂中段新生代右行走滑位移量的估算[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 62-69.
 Yu Zhaohua, Han Qinghua, Dong Dongdong, et al. Estimation of Cenozoic dextral strike-slip displacement of Tan-Lu fault in Laizhou Bay[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(1): 62-69.
- [43] 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 19-25.
 Cai Dongsheng, Luo Yuhui, Yao Changhua. Strike-slip and pull-apart structure study and its significance to petroleum exploration on Laizhouwan sag, Bohai area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2): 19-25.
- [44] 刘胜, 汪新, 伍秀芳, 等. 塔西南山前晚新生代构造生长地层与变形时代[J]. *石油学报*, 2004, 25(5): 24-28.
 Liu Sheng, Wang Xin, Wu Xiufang, et al. Growth strata and the deformation time of the late Cenozoic along front belts of Pamir-western Kunlun-southwest Tianshan in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(5): 24-28.
- [45] 贾东, 陈竹新, 张愫, 等. 东营凹陷伸展断弯褶皱的构造几何学分析[J]. *大地构造与成矿学*, 2005, 29(3): 295-302.
 Jia Dong, Chen Zhuxin, Zhang Qie, et al. Structural geometric analyses on the extensional fault-bend fold in the Dongying depression[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2005, 29(3): 295-302.
- [46] 郭卫星, 漆家福, 李明刚, 等. 生长褶皱发育模式[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2010, 34(1): 1-6.
 Guo Weixing, Qi Jiafu, Li Minggang, et al. Development models of growth fold[J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2010, 34(1): 1-6.
- [47] 陈广坡, 王天奇, 李林波, 等. 箕状断陷湖盆湖底扇特征及油气勘探: 以二连盆地赛汉塔拉凹陷腾格尔组二段为例[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(1): 63-69.
 Chen Guangpo, Wang Tianqi, Li Linbo, et al. Characteristics of sublacustrine fan in half-graben rift lake basin and its petroleum prospecting: case study on the second member of Tenggeer formation, Saihantala sag, Erlianbasin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(1): 63-69.
- [48] 操应长, 刘晖. 湖盆三角洲沉积坡度带特征及其与滑塌浊积岩分布关系的初步探讨[J]. *地质论评*, 2007, 53(4): 454-459.
 Cao Yingchang, Liu Hui. Discussion on the relationship between distribution of fluxoturbidite and depositional slope of delta in lacustrine basin[J]. *Geological Review*, 2007, 53(4): 454-459.
- [49] 鄢继华, 陈世悦, 宋国奇, 等. 三角洲前缘滑塌浊积岩形成过程初探[J]. *沉积学报*, 2004, 22(4): 573-578.
 Yan Jihua, Chen Shiyue, Song Guoqi, et al. Preliminary study on the formation of fluxoturbidite in front of delta[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(4): 573-578.
- [50] 刘和甫, 夏义平, 殷进垠, 等. 走滑造山带与盆地藕合机制[J]. *地质学前沿*, 1999, 6(3): 121-132.
 Liu Hefu, Xia Yiping, Yin Jinyin, et al. Coupling mechanism of strike-slip orogeny and basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(3): 121-132.
- [51] 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 等. 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造[J]. *地质学报*, 1983(1): 22-32.
 Ma Xingyuan, Liu Hefu, Wang Weixiang, et al. Meso-cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in eastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983(1): 22-32.
- [52] 姜雪, 徐长贵, 邹华耀, 等. 辽西低凸起与辽中洼陷油气成藏期次的异同[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2011, 36(3): 555-564.
 Jiang Xue, Xu Changgui, Zou Huayao, et al. Similarity and difference of hydrocarbon accumulation history in Liaoxi low uplift and Liaozhong sag[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(3): 555-564.

(收稿日期 2014-07-28 改回日期 2014-11-18 责任编辑 张怡)

版权所有