

渤海湾盆地新生代沉降特征及其动力学机制探讨

郭兴伟^{1,2},施小斌¹,丘学林¹,吴智平³,杨小秋^{1,2},肖尚斌¹

(1.中国科学院边缘海地质重点实验室,中国科学院南海海洋研究所,广东 广州 510301; 2.中国科学院研究生院,北京 100049; 3.石油大学地球资源与信息学院,山东 东营 257061)

摘要:综合分析了渤海湾盆地新生代以来断裂发育的分布规律,以及伸展量和沉积沉降随时间和空间的变化规律,并结合现今的深部结构特征,试图揭示盆地新生代沉降的地球动力学机制。发现在断陷阶段,断裂发育在时间和空间上控制了沉积沉降中心的迁移;拗陷阶段后期,在断裂作用非常弱的情况下,以渤中拗陷为中心,出现裂后加速沉降现象,并逐渐波及到相邻拗陷。断陷阶段的断裂发育和沉积沉降主要受板块运动形成应力场的控制,其沉降是岩石圈水平伸展和岩石圈垂向热减薄耦合作用的结果;而裂后加速沉降可能是岩石圈垂向密度突然变化及其后迅速热衰减造成的。

关键词:渤海湾盆地; 新生代; 断裂; 伸展量; 加速沉降

中图分类号:P542; P618.13 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1552(2007)03-0273-08

0 引言

渤海湾盆地位于华北地区的东北部,面积约20万km²,是我国东部重要的油气产区之一。渤海湾新生代盆地,由一系列NNE向和NE向的拗陷及位于其间的隆起组成(图1),由西北到东南分别为:冀中拗陷、沧县隆起、内黄隆起、黄骅拗陷、临清拗陷、东濮拗陷、埕宁隆起、下辽河拗陷、辽东湾拗陷、渤中拗陷和济阳拗陷等。

对渤海湾盆地各个拗陷新生代断裂发育及沉积沉降特征的研究已经很多,但对于其内在联系研究还不够,而这些变化规律及内在联系有助于揭示盆地新生代沉降的地球动力学机制,特别可用于解释新近纪以来渤海湾盆地的裂后加速沉降(郭兴伟等,2006;胡圣标等,1999;林畅松等,2003)。本文在统一了各拗陷的地层时间的基础上,试图整合前人对各个拗陷的新生代断裂发育及沉积沉降研究的成果,总结其在渤海湾盆地随时间和空间的变化规律,

并结合渤海湾盆地深部结构的探测结果,讨论断裂发育与沉积沉降之间的关系,以探讨渤海湾盆地新生代沉降的动力学机制,特别是裂后加速沉降的成因机制。

1 渤海湾盆地地质背景

在古生代结晶基底之上,中国东部大陆经历了中、新生代两个裂陷作用旋回(马杏垣等,1983)。渤海湾盆地在中生代末由于区域抬升剥蚀而经历了准平原化作用(徐杰等,2001),其新生代盆地为典型的断陷-拗陷盆地(漆家福等,1995;宗国洪等,1999;王世虎等,2004)。综合前人对渤海湾盆地构造演化方面的研究成果(李丕龙等,2003;漆家福等,1995;胜利油田石油地质志编写组,1993),对其构造演化特征进行了归纳,并对地层时间进行了统一(表1)。本研究考虑了断陷结束和拗陷开始之间的沉积间断(隋风贵和赵乐强,2006),其上下界面

收稿日期:2006-09-01;改回日期:2006-11-20

基金项目:国家自然科学基金项目(编号40676041,40204006),国家973项目(G2000046701),中国科学院南海海洋研究所与广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室基金项目(MSG10511)

第一作者简介:郭兴伟(1978-),男,博士研究生,主要从事地热地质学和盆地分析方面研究。Email: xwguo@scsio.ac.cn

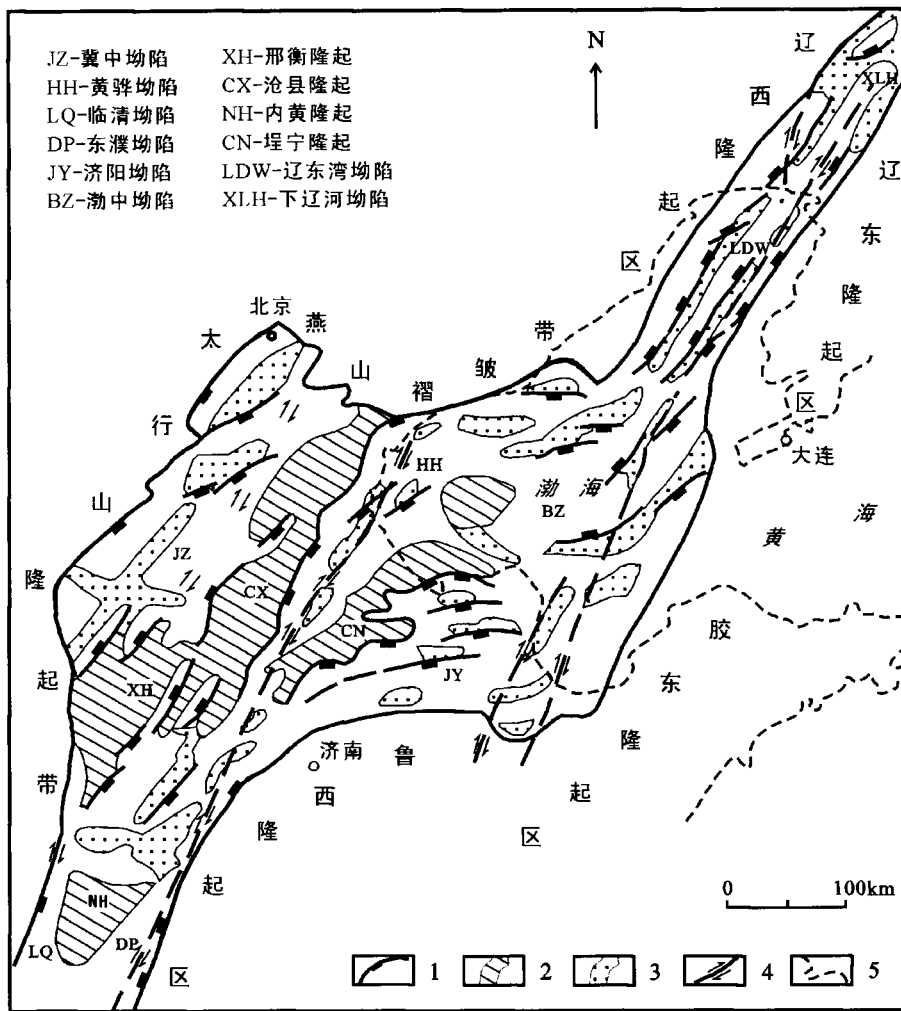


图 1 渤海湾盆地新生代盆地地区构造轮廓简要图(据陆克政等,1997)

1 - 古近纪拗陷边界正断层;2 - 古近纪隆起;3 - 拗陷中的凸起;4 - 走滑断层带;5 - 海岸线

Fig. 1 Cenozoic regional tectonic sketch map in Bohai Bay Basin (from Lu et al., 1997)

1 - Eocene boundary normal fault; 2 - Eocene uplift; 3 - swell in depression; 4 - strike-slip faults zone; 5 - shoreline

表 1 渤海湾盆地新生代构造演化特征简表

Table 1 Table of characteristics of Cenozoic tectonic evolution of Bohai Bay Basin

时 代	岩石地层		综合年龄 (Ma)	构造演化 阶 段		代表沉积相	
	组	段、亚段					
第四纪(Q)	平原组	Qp					
新近纪 (N)	上新世	明化镇组	6.0	拗陷阶段	东营运动	冲积平原相 河流沼泽相	
	中新世	馆陶组					Ng
古近纪 (E)	渐新世	东营组	Ed	断陷阶段	III幕	河流沼泽相 浅湖相 三角洲相	
			Es ¹				32.8
	始新世	沙河街组	Es ²		36.7	II幕	深陷湖盆相 浊积相 深湖相
			Es ³		38.2		
			Es ⁴		43.7	I幕	
古新世	孔店组	Ek	50.5	孔店运动	闭塞湖盆相		
			65.0				

的时间分别为 14Ma 和 24.6Ma(李丕龙等,2003;胜利油田石油地质志编写组,1993)。

2 渤海湾盆地新生代断裂发育

渤海湾盆地新生代的断裂大多发生在断陷阶段,断裂是断陷作用的体现。拉张发生时的张应力方向可以通过断裂走向来推断,而断裂发生的强度则可以根据单位时间的伸展量或伸展率来判断。

2.1 渤海湾盆地新生代断裂平面展布

根据渤海湾盆地中各个拗陷古近纪不同构造层(Ek-Es⁴、Es³-Es²、Es¹-Ed)的断层走向玫瑰花图,除了济阳拗陷和黄骅拗陷在 Es¹-Ed 时期,断层走向的优势方向在 60°~90°之间,在古近纪其它的断层走向的优势方向都在 30°~60°之间。所以,盆地新生代的断裂,其走向在平面上的优势方向为 NNE-NE 向和 NEE-近 EW 向。断层走向表明渤海湾盆地新生代断陷阶段的拉张方向为 NW 向。在伸展断层之间,由一系列 NW-NWW 向和近 EW 向的断层进行转换和连接,这些断层是盆地伸展构造的传递断层或传递带(陆克政等,1997)。

除了伸展构造外,盆地中还发育走滑构造,在盆地中有 3 条区域规模的 NNE 向右旋走滑带(图 1)(漆家福,2004)。这些走滑带,是深断裂在新生代右旋走滑运动的表现(肖尚斌等,2000)。在一些地段,走滑断层同时构成伸展凹陷的边界断层。在构造强度上,这 3 条 NNE 向的走滑构造带明显具有自东向西递减的趋势。走滑构造走向与盆地拉张方向大致垂直,而且往往与凹陷边界断层重合,所以对平行拉张方向剖面的伸展率计算影响很小。

2.2 渤海湾盆地新生代伸展率

根据平行拉张方向的平衡剖面,可以得到不同时间段的伸展量,即不同地质时间的剖面长度之差;伸展率则是单位时间的伸展量。伸展量或伸展率可代表断层活动的剧烈程度。本文根据前人在渤海湾盆地做的伸展量的结果(漆家福等,1994,1995;苏惠等,2000;田在艺和韩屏,1990;肖焕钦等,2002;杨明慧等,2002),对多个平行拉张方向剖面的伸展量结果

进行综合,按表 1 的地层年代,得到各拗陷的累积伸展率曲线图(图 2)。

图 2 反映了盆地断裂的规律:(1)伸展率在断陷阶段较大,而在拗陷阶段基本为零;说明各拗陷在新生代断陷阶段以拉张为主,而拗陷阶段则以热沉降为主,断裂很少发育。(2)在断陷阶段,沙三-沙二沉积段(特别是沙三沉积段)的伸展率曲线的斜率,又比其它两个伸展旋回大;说明伸展 II 幕比 I 幕和 III 幕的拉张强度更大。(3)下辽河拗陷、辽东湾拗陷和渤中拗陷在伸展 I 幕的伸展率的斜率明显比其它拗陷小,说明新生代的拉张可能是从盆地的西部开始的,逐渐向东部蠕散。(4)伸展 III 幕后期东营组沉积时,渤中拗陷、济阳拗陷和黄骅拗陷的伸展率的斜率比其它拗陷稍高,说明此时断裂发育的中心已经移到了盆地的中东部。

3 渤海湾盆地沉积沉降特征

沉积沉降中心的迁移,与断裂发育是密不可分的。在渤海湾盆地,生长断层普遍发育,从而形成大量箕状断陷,沉积沉降的中心随着断裂活动而迁移,断距相对较大的断层的上盘往往成为沉积沉降中心。

3.1 渤海湾盆地新生代沉积特征

根据前人对新生代层序地层学和沉积相的研究(漆家福等,1995;譙汉生等,2002;徐杰等,2004),

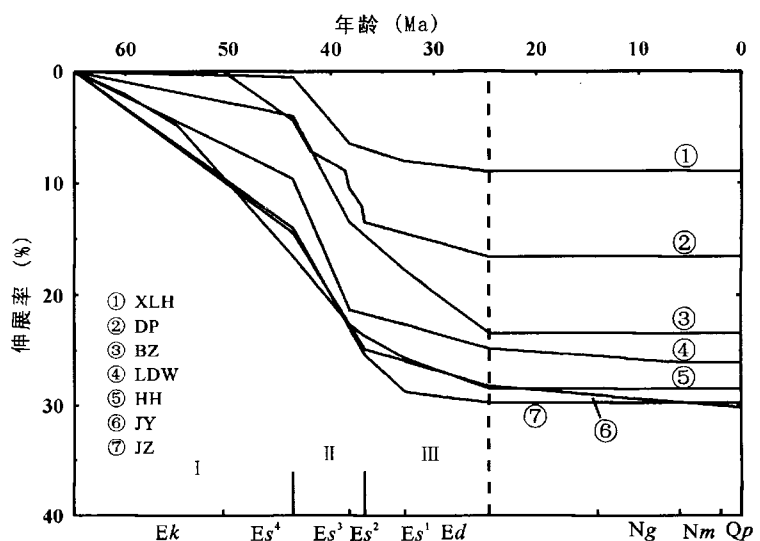


图 2 渤海湾盆地新生代累积伸展率曲线图

Fig. 2 Curves showing the accumulated extension proportions for Bohai Bay Basin in Cenozoic

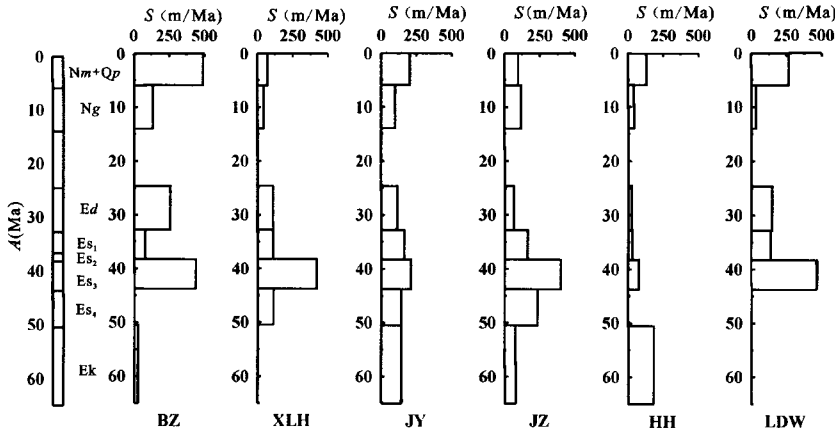


图 3 渤海湾盆地新生代基底沉降速率

A - 年龄; S - 基底沉降速率

Fig. 3 Rate of subsidence for Cenozoic basement in Bohai Bay Basin

A - age; S - basement subsidence rate

新生代以来渤海湾盆地的沉积中心有从西往东迁移的趋势。古新世时,新生代断陷作用使地壳拉张开裂,地壳张裂从西部现今的华北平原开始,形成一系列小的断陷湖盆,渤海海域和下辽河平原区可能到始新世初才被波及,湖盆中充填的孔店组(Ek)和沙四段(Es⁴)沉积具有多沉积中心、岩性及厚度变化大等特点。经历孔店运动之后,沙三段(Es³)开始沉积,边界主干断层的强烈活动,导致深陷湖盆发育,这一时期沉积中心相对比较稳定,沉积物以泥岩和浊积砂岩互层,到沙二段(Es²)时湖盆逐渐变浅,直到末期发生济阳运动。渐新世以来,湖盆明显收缩,沙一段(Es¹)和东营组(Ed)的沉积中心迁移到渤中拗陷。古近纪和新近纪之间发生了大规模的区域性沉积间断,而后沉积了巨厚的裂后沉积,沉积的中心仍然围绕渤中拗陷。

3.2 渤海湾盆地新生代基底沉降特征

对渤海湾盆地各个拗陷基底沉降的研究很多(杜旭东等,1997;郭兴伟等,2006;胡圣标等,1999;孟庆任等,1993;漆家福等,1994,1995;林畅松等,2003;王永新等,2003;王子煜等,2000;肖焕钦等,2002;杨明慧等,2002),本文将前人研究结果综合,根据伸展幕将时间段重新划分,在表1所列时间的基础上,得到各个拗陷的基底沉降速率(图3)。为了便于对各拗陷的裂后沉降速率加以对比,将24.6 Ma到14 Ma期间的沉降速率设为零,即假设沉积间断时期既无剥蚀也无沉积(Guidish *et al.*, 1985; Van Hinte, 1978)。

从图3可以看出:(1)断陷阶段以沙三段沉积

时期的基底沉降为最大;(2)孔店组和沙四段沉积时期沉降速率表现出无规律性,这与当时有多个沉积中心及开始沉积的准确时间在盆地西部和东部稍有差异有关;(3)沙一段和东营组沉积时期,沉降速率以渤中拗陷最大,其次为辽东湾拗陷和济阳拗陷,说明这一时期的沉降中心已经迁移到盆地的东部;(4)热沉降阶段,围绕渤海海域,以渤中拗陷为中心,新近纪后期出现明显的加速沉降,已经波及到辽东湾拗陷、济阳拗陷和黄骅拗陷,下辽河拗陷这一现象不明显,而冀中拗陷则无沉降加速现象。

4 渤海湾盆地深部结构特征

现今的深部结构特征,是深部地热场演化的结果,上地壳运动则是深部作用在地表的体现。对渤海湾盆地,乃至整个华北盆地的深部结构的研究,将有助于了解渤海湾盆地的地球动力学演化过程。

4.1 渤海湾盆地莫霍面埋深

在人工地震测深剖面的控制下,根据重力资料反演,得到了整个华北地区的莫霍面等深图(Liu, 1987),本文采用了其在渤海湾盆地的部分(图4)。从图4可以看出,在渤海湾盆地范围内,渤海海域,尤其是渤中拗陷的地壳最薄,只有不到28 km,向四周逐渐变厚;冀中拗陷是另一个莫霍面隆起中心;而沿沧县隆起和内黄隆起,有一条莫霍面强烈下陷带,从NE到SW分别有3个被36 km等深线包围的强烈下陷单元;而济阳拗陷、黄骅拗陷则没有跟拗陷相对应的莫霍面高点,而是沿向渤中拗陷方向,莫霍面逐渐变薄。

4.2 渤海湾盆地软流圈埋深

刘国栋和刘昌铨(1982)通过大地电磁测深和人工地震测深,发现上地幔有高导层存在,并且高导层位置与地震上的低速带的位置基本一致,由此推断,这个深度即为软流圈顶面的深度。高导层(软流圈顶面)等深线图见图5。从图5可以看出,软流圈和莫霍面的隆起和下陷位置是基本一致的。渤海海域被50 km和60 km两条等深线包围,冀中拗陷是另一个软流圈隆起的中心,沧县隆起和内黄隆起的

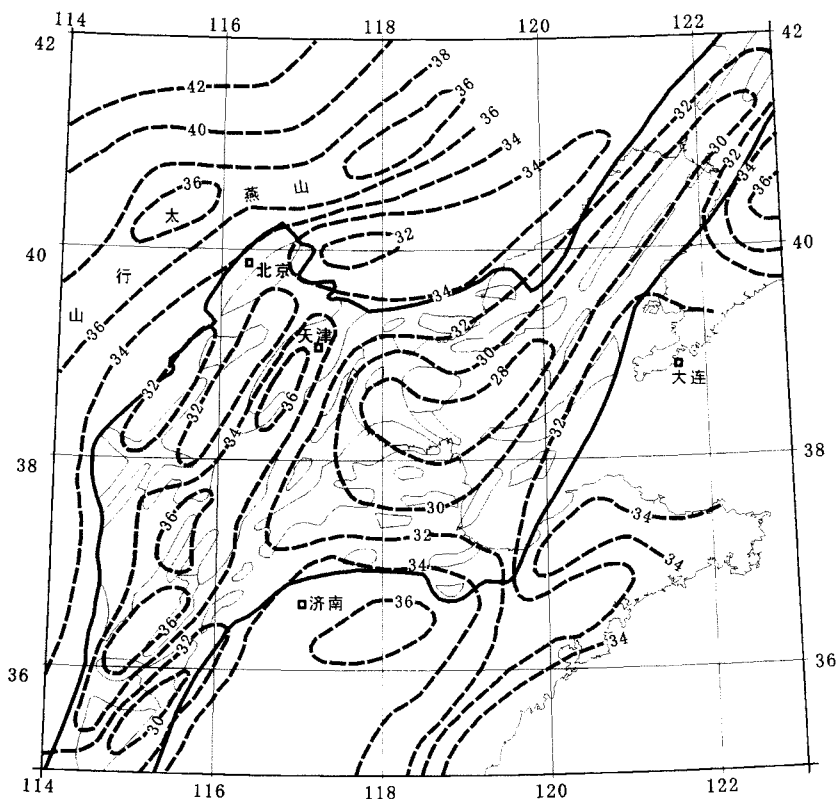


图 4 渤海湾盆地莫霍面等深线图(据 Liu, 1987)

Fig. 4 Moho contours for Bohai Bay Basin (from Liu, 1987)

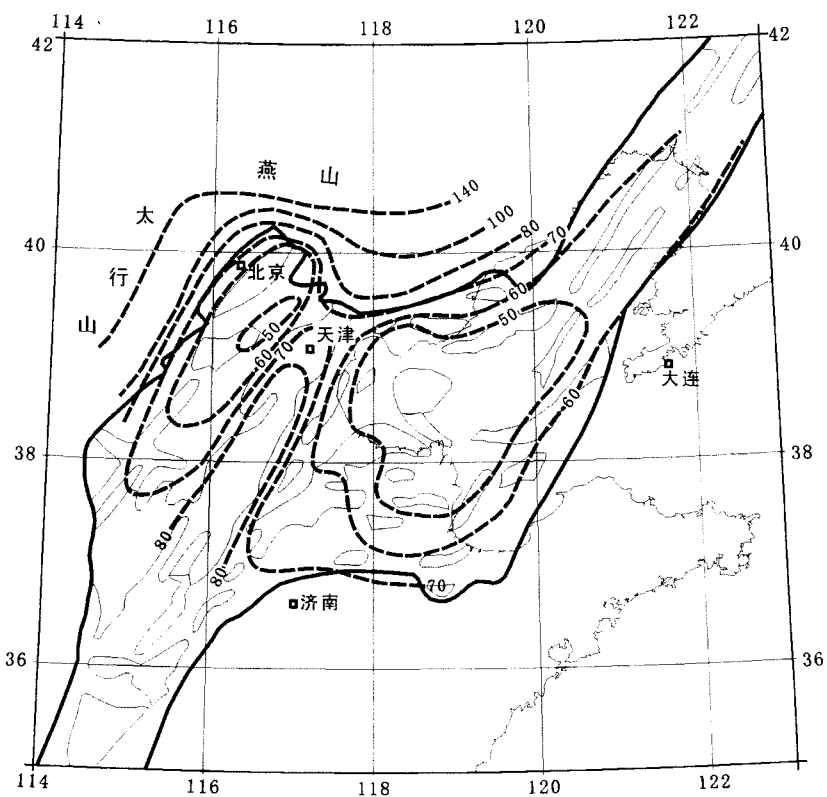


图 5 渤海湾盆地软流圈顶面等深线图(据刘国栋和刘昌铨,1982)

Fig. 5 Upper surface of asthenosphere contours for Bohai Bay Basin (from Liu & Liu, 1982)

岩石圈则是较厚的,达到 80km 以上。在渤海湾盆地的西北部,软流圈顶面等深线向其北部的燕山和西部的太行山迅速增加到 140km。

综合图 4 和图 5 来看,在渤海湾盆地,莫霍面和软流圈顶面有两个隆起中心,一个在渤海海域,另一个在冀中拗陷,前一个隆起中心的隆起程度远大于后者,济阳拗陷、黄骅拗陷、辽东湾拗陷甚至下辽河拗陷等拗陷没有单独的隆起中心,而且其等值线将渤海海域包围,显然这些拗陷的这两个界面受到后期以渤中拗陷为中心的软流圈隆起的改造。

4.3 其它的深部结构研究结果

地震层析成像研究结果(李志伟等,2006)表明,34km 的速度扰动图像沿辽东湾、渤海海域、济阳拗陷走向为 NNE 的一线为高速异常,表明这些拗陷的莫霍面小于 34km,而 120km 的速度扰动图像沿这一线为低速异常,为地幔顶部热物质向上侵入所致。

根据对华北地区上地幔顶部 Pn 波速度结构的研究结果(汪素云等,2003),及该区的热流资料(胡圣标等,2001),沿辽东湾、渤海海域、济阳拗陷走向为 NNE 的一线为 Pn 波低速异常区,对应着高热流,而冀中拗陷为 Pn 波高速异常区,对应着低热流。

5 讨论与结论

把渤海湾盆地伸展量和沉积沉降的变化规律联系起来分析,可以看出:在断陷阶段,在时间上,伸展分为三幕,其中 II 幕伸展最强,沉降速率和沉积的古水深也是三幕中最大的,在空间上,断裂活动强烈的区域由盆地的西部向中东部迁移,与沉积沉降中心的迁移也一致;在拗陷阶段,各拗陷的伸展量都很小或为零,但以渤中拗陷为中心,在渤中拗陷的相邻拗陷,拗陷阶段后期都出现加速沉降现象。这些内在联系说明,渤海湾盆地新生代断陷阶段的沉积沉降受断层伸展的控制,其动力学机制与岩石圈伸展减薄有关;而拗陷阶段的沉降,尤其是后期的加速沉降,与一般伸展盆地裂后的热沉降逐渐衰减的趋势(Mckenzie, 1978)不同,推断与拗陷阶段岩石圈垂向密度的突然变化及其后的迅速热衰减有关。

新生代渤海湾盆地,处于太平洋板块俯冲和印度洋板块碰撞挤压两大构造应力场之下。新生代盆地拉张方向主要为 NW 向,太平洋板块俯冲方向在新生代初为 NNW, Es^4 沉积晚期改为 NWW (Northrup *et al.*, 1995)。将新生代太平洋板块的俯

冲速率(Northrup *et al.*, 1995; Engebretson *et al.*, 1985),与伸展速率及沉降速率结合起来研究的结果表明(张愷等,2005):俯冲速率大时,盆地伸展缓慢,沉降小;俯冲速率小时,盆地伸展增快,沉降大。所以,渤海湾盆地拉张的主要动力为太平洋板块俯冲的弧后拉张作用,其张应力为太平洋板块俯冲产生应力的一个分量。太平洋板块俯冲产生应力的另一个分量,是与张应力垂直的剪切应力。 Es^4 沉积晚期,太平洋板块俯冲方向由 NNW 转为 NWW,使盆地左旋走滑的剪切应力减小,而此时印度洋板块对欧亚板块 NE 向碰撞挤压由软碰撞变为硬碰撞(Lee and Lawver, 1995),使盆地受到的右旋剪切应力增大,因此在渤海湾盆地出现了三个 NNE 或 NE 向的右旋走滑剪切带。所以,渤海湾盆地的走滑剪切的动力来自太平洋板块俯冲产生应力的剪切分量和印度洋板块的挤压产生的剪切应力。

渤海湾盆地新生代断陷阶段经历了 3 次构造反转(表 1),有区域的或局部的不整合发生。对盆地构造演化的数值模拟结果(郭兴伟等,2007;林舸等,2004)表明,在渤海湾盆地,甚至是华北盆地,单一的岩石圈水平伸展减薄机制,无法模拟盆地新生代的构造演化,还需要叠加垂向的热减薄机制才能模拟盆地新生代的构造演化。而这 3 次构造反转,可能是岩石圈水平伸展诱发,是对深部软流圈热隆起的反映,即岩石圈热减薄机制的体现。所以,渤海湾盆地在新生代断陷阶段的沉降不仅是岩石圈水平伸展的结果,还耦合了垂向的岩石圈热减薄的影响。

以渤中拗陷为中心,波及济阳拗陷、黄骅拗陷、辽东湾拗陷,甚至下辽河拗陷,其莫霍面和软流圈顶面强烈上隆,而其 Pn 波波速低速异常、热流为高值,推断其岩石圈减薄可能不仅是断陷阶段的结果,而在张裂结束后软流圈可能再次热隆起。张裂后岩石圈垂向密度突然变化,在深部表现为莫霍面和软流圈顶面的隆起,在地表则表现为裂后不整合现象。随后迅速热衰减,岩石圈的均衡响应可以造成加速沉降现象。冀中拗陷作为另一个莫霍面和软流圈顶面的隆起中心,其隆起规模远小于渤海海域,且其 Pn 波波速高速异常,热流为低值,所以推断冀中拗陷的岩石圈减薄只是前期断陷作用的结果,在拗陷阶段并没有软流圈的再次热隆起。所以,渤海湾盆地在断陷结束后垂向密度变化及随后迅速热衰减,可以解释拗陷阶段特别是后期,以渤中拗陷为中心、并逐渐波及及其相邻拗陷的加速沉降现象。

除了软流圈的热隆起以外,造成岩石圈垂向密

度的突然变化的动力学机制还有以下几种:(1)岩石圈的拆沉作用,岩石圈地幔的拆沉甚至下地壳的拆沉,负载变化不仅引起软流圈物质的上涌,而且使得地表遭受抬升剥蚀,产生裂后不整合,而其后发生的冷却作用很可能造成裂后的加速沉降;(2)岩石圈地幔的交代作用,即原来的富集型岩石圈地幔物质通过交代作用而转变成亏损型地幔物质,具体过程就是化学侵蚀(Van der Wal & Bodinier, 1996; Xu *et al.*, 1998),伴以机械热侵蚀(徐义刚,1999)。这些侵蚀作用可以导致岩石圈的垂向减薄,从而也有可能发育裂后不整合及其后的加速沉降。

致谢:衷心感谢中国石油大学(北京)漆家福教授在审稿过程中提出的宝贵意见,以及在文章修改过程中的热情指导。

参考文献(References):

- 杜旭东,漆家福,张一伟,陆春生. 1997. 沉降量约束下黄骅裂谷形成的地球动力学模式. 长春地质学院学报, 27(2): 152-155.
- 郭兴伟,施小斌,丘学林,吴智平,李伟,李凌. 2006. 济阳拗陷新生代构造沉降特征. 中国石油大学学报(自然科学版), 30(3): 6-11.
- 郭兴伟,施小斌,丘学林,吴智平,杨小秋. 2007. 渤海湾盆地济阳拗陷新生代裂后不整合、加速沉降事件及其成因浅析. 地球物理学报, 50(2): 455-464.
- 胡圣标,张容燕,罗毓晖,蔡东升. 1999. 渤海盆地地热历史及构造-热演化特征. 地球物理学报, 42(6): 748-755.
- 胡圣标,何丽娟,汪集旻. 2001. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版). 地球物理学报, 44(5): 611-626.
- 李丕龙等. 2003. 陆相断陷盆地油气地质与勘探(卷六): 陆相断陷盆地勘探新技术. 北京:石油工业出版社,地质出版社,93-106.
- 李志伟,胥颐,郝天姚,刘劲松,张岭. 2006. 环渤海地区的地震层析成像与地壳上地幔结构. 地球物理学报, 49(3): 797-804.
- 林畅松,郑和荣,任建业,刘景彦,邱以刚. 2003. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制. 中国科学(D辑), 33(11): 1025-1036.
- 林舸, Y H Zhang, 王岳军,郭锋,范蔚茗,阎义. 2004. 华北陆块岩石圈减薄作用:热减薄与机械拉伸的数值模拟研究. 大地构造与成矿学, 28(1): 8-14.
- 刘国栋,刘昌铨. 1982. 华北北部地区地壳上地幔构造及其与新生代构造活动的关系. 中国科学(B辑), 12: 1132-1140.
- 陆克政,漆家福,戴俊生,杨桥,童亨茂. 1997. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式. 北京:地质出版社, 92-109.
- 马杏垣,刘和甫,王维襄,汪一鹏. 1983. 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造. 地质学报, 57(1): 22-42.
- 孟庆任,王战,王翔,解建民. 1993. 新生代黄骅拗陷构造伸展、沉积作用和岩浆活动. 地质论评, 39(6): 535-547.
- 漆家福,杨桥,陈发景,陈昭年. 1994. 辽东湾-下辽河盆地新生代构造的运动学特征及其演化过程. 现代地质, 8(1): 34-42.
- 漆家福,张一伟,陆克政,杨桥. 1995. 渤海湾盆地新生代构造演化. 石油大学学报. 19(增刊): 1-6.
- 漆家福. 2004. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及成因解释. 中国地质, 31(1): 15-22.
- 谯汉生,方朝亮,牛嘉玉,关德师. 2002. 渤海湾盆地深层石油地质. 北京:石油工业出版社, 50-65.
- 胜利油田石油地质志编写组. 1993. 中国石油地质志(卷六): 胜利油田分卷. 北京:石油工业出版社, 32-47.
- 苏惠,曲丽萍,李桂霞,王艺景,宋静. 2000. 东濮凹陷平衡剖面与构造演化研究. 石油地球物理勘探, 35(4): 469-478.
- 隋风贵,赵乐强. 2006. 济阳拗陷不整合结构类型及控藏作用. 大地构造与成矿学, 30(2): 161-167.
- 田在艺,韩屏. 1990. 渤海断陷盆地拉张量分析与油气潜力. 石油学报, 11(2): 1-12.
- 汪素云,许忠淮,裴顺平. 2003. 华北地区上地幔顶部 Pn 波速度结构及其构造含义. 中国科学(D辑), 2003, 33(增刊): 91-98.
- 王世虎,夏斌,陈根文,姜在兴,肖尚斌,于俊峰. 2004. 济阳拗陷构造特征及形成机制讨论. 大地构造与成矿学, 28(4): 428-434.
- 王永新,汪集旻,胡圣标. 2003. 辽河盆地东部凹陷热历史及构造-热演化特征. 地质科学, 38(2): 214-220.
- 王子煜,漆家福,陆克政. 2000. 黄骅拗陷东部构造带新生代构造沉降史分析. 石油与天然气地质, 21(2): 127-129.
- 肖焕钦,陈广军,李长宝. 2002. 济阳拗陷盆地拉张量及其石油地质意义. 石油实验地质, 24(1): 13-18.
- 肖尚斌,高喜龙,姜在兴,谯汉生. 2000. 渤海湾盆地新生代的走滑活动及其石油地质意义. 大地构造与成矿学, 24(4): 321-328.
- 徐杰,高战武,孙建宝,宋长青. 2001. 区域伸展体制下盆-山构造耦合关系的探讨——以渤海湾盆地和太行山为例. 地质学报, 75(2): 165-174.
- 徐杰,马宗晋,邓起东,陈国光,赵俊猛,张进. 2004. 渤海中部渐新世以来强烈沉降的区域构造条件. 石油学报, 25(5): 11-16.
- 徐义刚. 1999. 岩石圈的热机械侵蚀和化学侵蚀与岩石圈减薄. 矿物岩石地球化学通报, 18: 1-5.

- 杨明慧, 刘池阳, 杨斌谊, 赵红格. 2002. 冀中坳陷古近纪的伸展构造. *地质论评*, 48(1): 58 - 67.
- 张愷, 贾东, 陈竹新, 王良书, 陆建军, 陈晓明. 2005. 济阳坳陷中、新生代构造沉降与板块聚敛速率关系探讨. *高校地质学报*, 11(4): 642 - 648.
- 宗国洪, 肖焕钦, 李长宝, 施央申, 王良书. 1999. 济阳坳陷构造演化及其大地构造意义. *高校地质学报*, 5(3): 275 - 282.
- Guidish T M, Kendall C G ST C, Lerche I, Toth D J and Yarzab R F. 1985. Basin evaluation using burial history calculation: an overview. *AAPG*, 69(1): 92 - 105.
- Engebretson D C, Cox A and Gordon R G. 1985. Relative motions between oceanic and continental Pacific Basin. *Geological Society of American Special Papers*, 206: 1 - 59.
- Lee Tungyi and Lawver L A. 1995. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia. *Tectonophysics*, 251: 85 - 138.
- Liu Guodong. 1987. The Cenozoic rift system of the North China Plain and the deep internal process. *Tectonophysics*, 133: 277 - 285.
- McKenzie D P. 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Science Letters*, 40: 25 - 32.
- Nothrup C J, Royden L H and Burchfiel B C. 1995. Motion of the Pacific Plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. *Geology*, 23(8): 719 - 722.
- Van Hinte J T. 1978. Geohistory analysis: application of micropaleontology in exploration geology. *AAPG*, 62(2): 201 - 222.
- Van der Wal D and Bodinier J L. 1996. Origin of the recrystallisation front in the Ronda peridotite by km-scale pervasive porous melts flow. *Contrib Mineral Petrol*, 122: 387 - 4051.
- Xu Yigang, Menzies M A, Vroon P, Mercier G C C and Lin C Y. 1998. Texture-temperature-geochemistry relationships in the upper mantle as revealed from spinel peridotite xenoliths from Wangqing, NE China. *J Petrol*, 39: 469 - 493.

CENOZOIC SUBSIDENCE IN BOHAI BAY BASIN: CHARACTERISTICS AND DYNAMIC MECHANISM

GUO Xingwei^{1,2}, SHI Xiaobin¹, QIU Xuelin¹, WU Zhiping³,
YANG Xiaoqiu^{1,2} and XIAO Shangbin¹

(1. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, GD 510301, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Faculty of Geo-Resource and Information, Petroleum University, Dongying, SD 257061, China)

Abstract: The characteristics of development and distribution of Cenozoic faults, amount of extension, and the temporal-spatial variation rules for subsidence of sediments in Bohai Bay Basin were analyzed based on previous study results. Analysis of the deep structures was made to investigate the dynamic mechanism for the Cenozoic subsidence. The results show that in the uplifting period development of faults controls the transition of deposition or subsidence centers, while at the end of the depressing period, accelerated subsidence whose center is Bozhong Depression occurs and shows a tendency of transition from the center to its adjacent depressions. It can be concluded that development of faults, deposition, and subsidence was controlled by the stress field generated from the plate movement, and subsidence of sediments was resulted from the horizontal extension and vertical thermal thinning of lithosphere in the uplifting period. The accelerated subsidence of sediments in the postrift uplifting period may result from the vertical change in density of the lithosphere and its following quick thermal decay.

Keywords: Bohai Bay Basin; Cenozoic; fault; amount of extension; accelerated subsidence