

文章编号: 1001-6112(1999)03-0196-05

# 渤海湾盆地东营运动的特征及成因分析

史卜庆<sup>1</sup>, 吴智平<sup>1</sup>, 王纪祥<sup>2</sup>, 周瑶琪<sup>1</sup>, 戴启德<sup>2</sup>

(1. 石油大学(华东) 油气资源与环境地质研究所, 山东东营 257062;  
2. 石油大学(华东) 石油资源科学系石油地质教研室, 山东东营 257062)

**摘要:** 渤海湾盆地东营运动是一个范围广泛、强度较大的区域性构造运动, 处在由盆地的裂陷阶段向拗陷阶段过渡时期。形成了众多小规模次级断层、全区整体抬升并遭受剥蚀, 局部发育反转构造。该运动以及渤海湾盆地在伸展裂陷阶段的多次构造运动说明渤海湾盆地呈现出幕式沉降过程, 东营运动则具有更重要的动力学意义。岩石圈快速拉伸、上地幔上涌和温度升高以及壳下岩石圈的弹性回返可以很好地解释东营运动的形成过程以及渤海湾盆地演化阶段的转折。考虑地壳均衡效应, 可以对传统的地层剥蚀量计算方法进一步修正。渤海湾盆地东营运动的形成和发展有利于盆地内油气的生成和运移。

**关键词:** 东营运动; 渤海湾盆地; 地壳均衡作用; 壳内弹性差异; 间断面

中图分类号: TE121.1; P618.13

文献标识码: A

渤海湾盆地东营运动发生于早第三纪末期, 即东营组沉积末期, 是一个范围广泛、强度较大的区域性构造运动, 处在由盆地的裂陷阶段向拗陷阶段过渡时期。该运动呈现出全区发育众多次级断层、整体抬升并遭受剥蚀作用以及局部构造反转的特点, 是渤海湾盆地所遭受的最后一次较大的构造运动。它使盆地的裂陷构造基本定形, 对盆地内油气藏的形成、保存起到了重要的控制作用。其只是我国东部地区早第三纪末期的构造事件的一部分, 比如在苏北与南黄海称为三垛运动, 台湾称为埔里运动, 而在日本则对应称为高千惠运动<sup>[1]</sup>。这说明东营运动在早第三纪末期并不是仅在渤海湾地区独有, 而是一个可以沿太平洋板块俯冲带进行全区对比的区域性构造运动的一部分, 暗示其形成可能具有一个区域性的地球动力学背景。而且盆地的这种并非一拉到底的演化特征在全球盆地演化中具有很好的代表性。因此开展对渤海湾盆地东营运动的演化史和形成机制研究, 探讨控制盆地由裂陷向拗陷转化的地球动力学因素, 进而探讨其对油气藏的影响, 具有非常重

要的构造地质学意义和石油勘探参考价值。

## 1 渤海湾盆地东营运动的地质特征

渤海湾盆地东营运动处于由盆地伸展裂陷作用向拗陷阶段过渡时期, 因而其地质构造特征既有普遍性, 又有特殊性。总体上渤海湾盆地东营运动形成了 3 种主要地质现象。(1) 在各个拗陷内形成了众多小规模次级断层。该期断裂活动是继沙三期之后出现的又一次高峰期, 但断裂活动较沙三期弱, 未能使盆地在大范围内产生沉降和伸展, 而是在各二级构造带上形成了许多纵横交错的次级断层, 从而使早期形成的各类构造进一步复杂化, 并使盆地构造的形态基本定形。形成的断层规律性差, 均为盖层断层, 依附于先成断裂, 延伸范围主要局限在正向二级构造带内, 也未对先成断裂的构造格局造成重要影响。(2) 盆地内出现区域性新老第三系之间的不整合面。渤海湾盆地内新老第三系之间的地层不整合面是一个全区发育的区域性间断面, 其上下地层的接

收稿日期: 1998-07-05; 修订日期: 1999-04-08

基金项目: 中国石油天然气总公司“九五”科技攻关项目(95-01-03); 石油天然气总公司中青年创新基金课题“渤海湾盆地 N/E 间断面研究”。

作者简介: 史卜庆(1973-), 男, 河南濮阳人, 博士生, 主要从事石油地质研究。

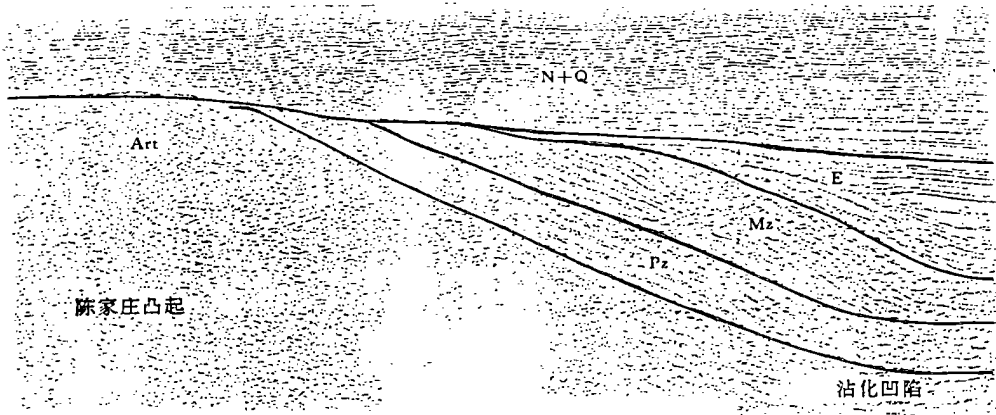


图 1 渤海湾盆地济阳拗陷典型 N/E 间断面分布模式图

Fig. 1 Typical distribution model of stratigraphic disconformity between N/E in Jiyang depression, Bohai Bay Basin

触关系具有横向差异性,即在盆地不同的构造位置具有不同的接触关系(图 1),充分反映了渤海湾盆地由裂陷阶段的断块掀斜运动-整体抬升、剥蚀均夷-整体拗陷阶段的演化过程。(3)盆地局部存在的反转构造。资料表明,在渤海湾盆地局部地区的新老第三系界面附近发育有反转构造,如渤海南部海域(图 2)<sup>[2]</sup>。由于渤海湾盆地在裂陷伸展阶段拉张量很大,盆地内的构造反转现象只是局部存在,但是由于反转构造是伸展裂陷盆地受区域性挤压应力的产物,因此该现象的存在是渤海湾盆地构造发展演化的一个重要环节。

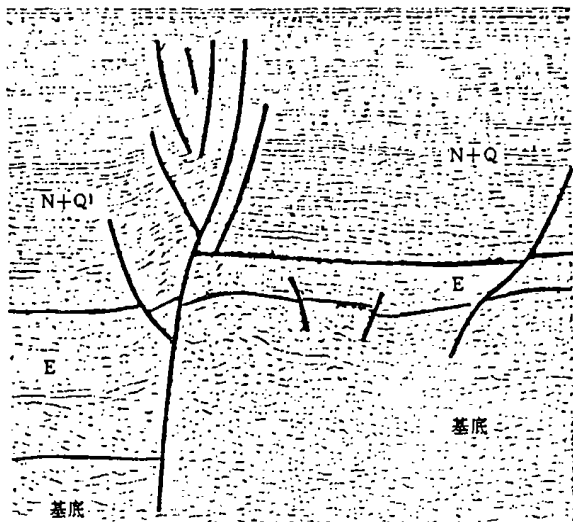


图 2 渤海湾盆地渤海南部海域典型反转构造地震剖面图(据王燮培等, 1996)

Fig. 2 Typical seismic section showing tectonic inversion in South Bohai Sea area, Bohai Bay Basin

## 2 渤海湾盆地东营运动的成因分析

渤海湾盆地东营运动的地质特征说明渤海湾盆地经过了伸展裂陷并接受沉积、整体抬升剥蚀、之后区域热沉降的过程。对比我国东部诸盆地,该过程是一个具有普遍意义的模式。研究表明,盆地的伸展裂陷也出现了多次构造运动使盆地抬升并遭受剥蚀的过程。王燮培等(1996)认为中国东部中、新生代至少有 4 期强烈的构造反转作用,即侏罗纪末、晚白垩世末、老第三纪末(东营期末)和新第三纪末<sup>[2]</sup>。这充分说明盆地的伸展运动是一种幕式沉降过程,而对盆地由伸展裂陷向拗陷期过渡起控制作用的构造运动则更为重要。目前人们普遍认为渤海湾盆地东营运动的形成机制与由太平洋板块的运动方向改变造成的中国东部的平移扭动有关,这种平移扭动以郯庐断裂等深大断裂的力学活动机制改变为表现<sup>[1-4]</sup>。笔者认为,这种解释尚不能很好地说明盆地在裂陷伸展阶段的幕式沉降过程,也不能很好地解释控制盆地由伸展裂陷阶段向拗陷阶段过渡的动力学机制。盆地的伸展裂陷、整体抬升以及拗陷并非直接受单纯的拉张或挤压构造应力场的控制,而更与盆地深部热物质的上升或沉降有关。因此笔者试图从深部动力学角度来探讨上述问题。

Bott(1992)将盆地的沉降作用分为同裂谷期和后裂谷期两种,其中同裂谷期的盆地沉降作用受地壳减薄作用、岩石圈减薄的热效应、沉积载荷作用或

者可能有岩浆侵入作用的影响。而后裂谷期的盆地沉降作用则仅受岩石圈减薄作用的热效应和沉积载荷作用的影响。当岩石圈开始变冷或加厚时,盆地的沉降作用将以时间的幂指数关系衰减<sup>[5]</sup>。Bott (1992) 还对大陆边缘盆地的热沉降和抬升作用效应进行了估算,认为伸展作用和岩石圈减薄作用可以使上地幔温度升高,根据地壳均衡原理,如果上地幔温度上升 100K 将会导致海底上升 0.43km<sup>[5]</sup>。因此盆地的抬升是岩石圈快速拉伸和上地幔上涌作用的最终效应。渤海湾盆地经过了早第三纪的伸展运动,地壳遭受了强烈减薄,上地幔温度升高,密度变小。利用地壳均衡原理,选取一个基准面(图 3),根据 Bott (1992) 所使用的  $\rho_m$  和  $\rho_c$  以及上地幔的体积膨胀系数,假设上地幔因强烈的地壳减薄作用而使温度上升了 100K,则上地幔密度减小了  $10\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,若壳幔边界保持不变,那么基准面之上的地壳和地幔物质在上地幔温度上升前后应保持均衡,因此可以建立一个方程式,即

$$H\rho_m + h\rho_c = H(\rho_m - 10) + (h + \Delta h)\rho_c$$

其中  $H$  为基准面之上的上地幔厚度,  $h$  为地壳厚度,  $\Delta h$  为上地幔温度上升之后地壳的厚度变化量,  $\rho_m$  为上地幔密度,  $\rho_c$  为地壳密度。可以推出  $\Delta h = 10H / \rho_c$ ,假设  $H = 100\text{km}$ ,地壳将增厚 500m(图 3)。

区域构造研究表明,渤海湾盆地的裂陷伸展运动具有分层拆离组合伸展的特征<sup>[3]</sup>。图 4 为这种裂陷伸展机制的模型,上地壳为脆性的非对称断块掀斜式的简单剪切运动,下地壳为韧性的纯剪切伸展运动,拆离面局限在地壳内部。早第三纪裂陷盆地对应的地壳厚度及岩石圈厚度相对较小,且壳下岩石圈的伸展量明显大于地壳伸展量。当上地幔物质温度上升至极限并促使地壳增厚时,本区控制盆地伸展裂陷作用的地球动力学机制衰减并逐渐消失。上地壳在经受了简单剪切伸展作用之后,形成了不对称和具掀斜结构的伸展构造系统,缺乏弹性回返的作用机制;而壳下岩石圈持续发生韧性纯剪切运动,具有弹性回返的潜力,且其伸展量大于上地壳伸展量。因此上地壳受壳下岩石圈的弹性回返作用而发生被动抬升,这也是渤海湾盆地在东营运动期间全区整体抬升的一种动力学机制。

根据上述分析,渤海湾盆地全区相对于基准面整体抬升,在抬升过程中形成了众多小规模次级断层,对原来的先成构造进行复杂化,该期形成的次级断裂属于一种前造山期的伸展构造,与裂陷伸展期

形成的断裂有别。在全区抬升作用开始之后,抬升区开始遭受剥蚀夷平。而后岩石圈的热能释放达到均衡,岩石圈变冷加厚,全区整体沉降,进入拗陷阶段。由于该区在裂陷阶段经过了强烈的断块掀斜运动和差异升降运动,造成该期地形高差大,物源充足,沉积了以河流相、冲积平原相为主的馆陶组地层。

渤海湾盆地新生代诸拗陷于东营运动之前曾经发生了多次构造抬升运动,如济阳拗陷沙四末期的济阳运动,可以推断其也具有类似的动力学机制。不同的是在盆地的伸展裂陷期上地幔上涌强度相对较大,导致的地壳减薄作用和盆地裂陷伸展运动占较大优势,盆地在短暂的整体抬升之后继续发生伸展裂陷运动。渤海湾盆地东营运动之所以处于盆地由伸展裂陷向拗陷期过渡期,是因为地壳减薄作用与上地幔温度上升之间的地壳均衡关系处在持续的不平衡状态,这种持续不平衡状态的积聚使得盆地在晚第三纪末期地壳减薄作用和伸展裂陷运动达到了极限,也达到了壳下岩石圈热能积聚-释放平衡的极限,从而使盆地在经历了短暂抬升之后,开始发生岩石圈的冷缩加厚,盆地进入拗陷阶段。

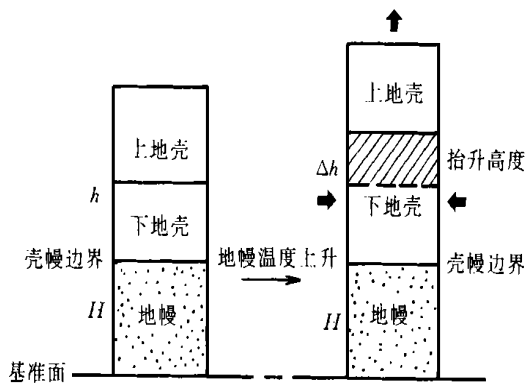


图 3 上地幔温度上升引起的地壳厚度变化效应示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of crust thickness variation for the effect of temperature raising of upper mantle

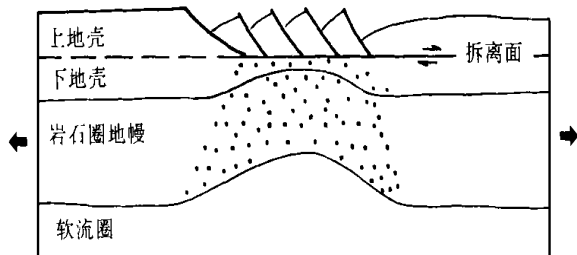


图 4 渤海湾盆地伸展裂陷运动的典型模式  
Fig. 4 Typical extensional rifting model of Bohai Bay Basin

### 3. 渤海湾盆地新老第三系之间的间断面研究

地层间的不整合关系只是地质作用过程在地层中等一种貌似简单,实则具有复杂地质内涵的地质现象<sup>[6]</sup>。区域性地层不整合既可以在挤压造山过程中形成,也可以是在伸展裂陷作用过程中形成。但是长期以来,地质学家们偏重于对造山作用不整合的研究,而很少注意到盆地拉张过程中产生的不整合。在盆地裂陷过程中的地层不整合接触关系可以分为两种,即同裂谷期不整合和后裂谷期不整合。前者是指由拉张裂陷作用产生的断块掀斜作用造成的上覆沉积与基底岩系或先成沉积岩系之间的不整合,后者为在拉张裂陷过程中同裂谷期沉积岩系与后裂谷期沉积岩系之间的不整合。渤海湾盆地东营运动造成的区域性不整合应属于伸展裂陷过程中的不整合类型,而且属于后裂谷期不整合。

相对于地球表面的抬升势必引起剥蚀作用,由于密度较轻的地壳浮于密度较大的地幔之上,其符合基于阿基米德定律的地壳均衡规律,那么如果地壳中的地层有厚度为  $\Delta T$  被剥蚀,那么由其导致的地壳表面下降量为  $\Delta T(\rho_m - \rho_c) / \rho_m \approx \Delta T / 6$  (图5),而现今的剥蚀面从原来剥蚀前的位置上升了  $5\Delta T / 6$ ,壳幔边界也相应上升  $5\Delta T / 6$ <sup>[7]</sup>。如果在  $\Delta T$  厚度的地壳剥蚀作用过程中同时伴有构造运动使该地区地壳增厚,那么壳幔边界的深度及地壳表面的海拔高度将不发生改变。因此如果仅对渤海湾盆地的新老第三系之间的间断面进行简单的几何学分析或沉积史和热史反演,那么很容易低估该时期东营运动造成的剥蚀量。根据这一规律,由于难以分析该时期壳幔边界的变化,所以应该首先分析该时期渤海湾盆地由于地壳均衡作用造成的抬升量,即  $\Delta H$ ,然后根据该抬升量反推出剥蚀量的大小,即  $\Delta T = 6\Delta H / 5$ 。而现今盆地剥蚀量的计算方法及结果均为该时期由于地壳均衡作用造成的抬升量的大小,如对泥岩声波时差资料进行处理的压实作用反演方法、对磷灰石裂变径迹资料以及镜质体反射率  $R_o$  进行处理的热史反演方法等。人们根据磷灰石裂变径迹资料反演出该时期渤海湾盆地东营凹陷的平均剥蚀量为  $200\text{m}$ <sup>[8]</sup>,根据上述原理,那么该时期平均剥蚀量至少应为  $240\text{m}$ 。渤海湾盆地第三纪的古气候由温热带逐渐向半干旱、暖热型气候转变。晚第三纪本区古纬

度跨度为  $34 \sim 40$  度,东营组沉积时期经历了由中亚热带型,经北亚热带型,到晚期向半湿润的暖温带型气候转化。晚第三纪早期渤海湾盆地由北亚热带型至暖温带型气候,到上新世完全转为半干旱、半湿润的疏林草原暖温带气候<sup>[9]</sup>。因此气候变冷也是造成渤海湾盆地新老第三系之间剥蚀面的影响因素之一。

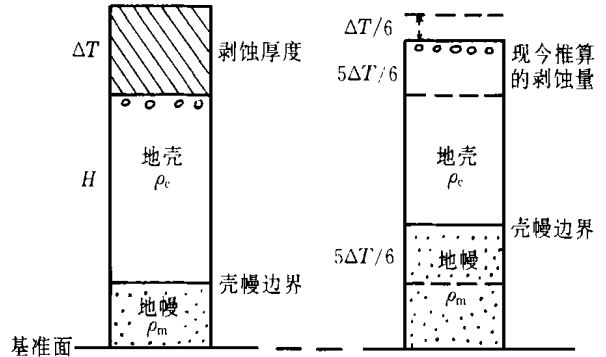


图5 盆地地层间断面形成过程示意图

Fig. 5 Schematic diagram of stratigraphic disconformity formation process in basins

### 4. 渤海湾盆地东营运动对油气藏的影响

渤海湾盆地在渐新世末期所遭受的东营运动是我国东部含油气盆地形成主要油气构造的关键性构造运动。渤海湾盆地在东营运动期间形成了众多次级断层,这些断层使先成的二级构造带复杂化,使油气圈闭数量增多,圈闭面积变小,类型复杂化。同时东营运动在渤海湾盆地主要的油气圈闭类型的形成上占有很大比重的贡献<sup>[2]</sup>,如东营凹陷中央隆起带的形成。因为单纯的伸展裂陷机制并不能形成诸如底辟构造、潜山披覆构造等大规模的油气有利圈闭,而是与抬升机制下的相对挤压的叠加作用有关。

渤海湾盆地在东营运动期间,由于壳下岩石圈温度上升,导致本区地温梯度升高,相对降低了生油岩的生油门限,从而促使烃源岩有机质的热演化成生成油气。因此除了烃源岩有机质受到压实作用成熟外,区域地层温度的升高也是一个对生油条件非常有利的因素。同时生成的油气因地温升高而密度降低、粘度降低,从而有利于其向圈闭中的运移和聚集。以东营凹陷为例,该凹陷在东营期曾经发生过第二次大规模的油气聚集成藏,此时沙四段和沙三段段的烃源岩均已达到生油门限。

## 5. 结论

渤海湾盆地东营运动的发生是壳下岩石圈的最后一次温度上升而造成的区域性构造抬升运动, 处在盆地由伸展裂陷阶段向前造山运动阶段的过渡期。盆地内深大断裂的力学活动机制的变化是深部物质温度变化的表现形式。东营运动期间形成的断块活动与盆地裂陷伸展期的断块活动机制截然不同。根据地壳均衡原理, 结合磷灰石裂变径迹分析、泥岩压实分析等方法我们可以更为精确地计算出断面剥蚀量。渤海湾盆地东营运动活动期的高地温度有利于油气的生成和运移。

### 参考文献:

[1] 万天丰. 论构造事件的节律性[J]. 地学前缘, 1997, 4(3~4):

259~260.

- [2] 王燮培, 宋廷光. 从松辽盆地的构造反转看中国东部盆地构造圈闭的形成[J]. 地球科学- 中国地质大学学报, 1996, 21(4): 381.
- [3] 漆家福, 等. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J]. 石油实验地质, 1995, 17(4): 319~321.
- [4] 陈嘉树. 济阳运动的特点及其对济阳拗陷的影响[J]. 石油实验地质, 1993, 15(1): 86~99.
- [5] M H P Bott. Passive margins and their subsidence[J]. *Journal of the Geological Society*, 1992, 149: 805~807.
- [6] 周鼎武, 等. 磨拉石建造和“不整合”在地层对比中的意义[J]. 地质论评, 1996, 42(5): 420~421.
- [7] Peter Molnar and Philip England. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: chicken or egg? [J]. *Nature*, 1990, July, 346: 30.
- [8] 郭随平, 施小斌, 王良书. 胜利油区东营凹陷热史分析[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 32~36.
- [9] 姚益民, 梁鸿德, 蔡治国, 等. 中国油气区第三系( )渤海湾盆地分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994, 128~129.

## A STUDY ON THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GEODYNAMIC ORIGIN OF DONGYING MOVEMENT, BOHAI BAY BASIN

SHI Bu-qing<sup>1</sup>, WU Zhi-ping<sup>1</sup>, WANG Ji-xiang<sup>2</sup>, ZHOU Yao-qi<sup>1</sup>, DAI Qi-de<sup>2</sup>

(1. *Petroleum Resources and Environmental Geology Research Institute, University of Petroleum, Dongying 257062, China;*

*2. Petroleum Resources Science Department, University of Petroleum, Dongying 257062, China)*

**Abstract:** Dongying movement in Bohai Bay Basin is an intensely regional tectonic movement occurred during late Paleogene. According to the geological features of Dongying Movement in Bohai Bay Basin and the research results of the former, this paper analyzed the potential geodynamic origins of Dongying movement. One is the effect of quick stretching of lithosphere, upwelling and temperature raising of upper mantle, the other is result of the flexibility discrepancy among upper, lower crust and lithosphere under crust during the lithosphere cooling. Furthermore, this paper illustrated the reason of transition of basin evolution style, i. e. from rifting and extension to uplifting and whole subsidence during Dongying movement of Bohai Bay Basin. Based on isostasy principle, this paper made out a correction method for the calculation of disconformity erosion amount. The possible influences of Dongying movement on the formation and accumulation of petroleum reservoir in Bohai Bay Basin were mentioned.

**Key words:** Dongying movement; Bohai Bay Basin; isostasy; flexibility discrepancy; unconformity.