

冀中拗陷束鹿凹陷横向调节带成因分析

孔冬艳¹ 沈 华² 刘景彦² 尹 微²

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学能源学院, 北京 100083)

摘要:束鹿凹陷是冀中拗陷西南部的一个典型的伸展单断凹陷, 构造格局简单, 存在北东向伸展断裂系统和北西向横向调节带。通过凹陷演化史以及钻井资料分析, 探讨横向调节带形成机制和形成时期, 提出 I 级调节带形成于凹陷强烈伸展期, II 级调节带形成于凹陷弱伸展时期。研究认为, 边界断裂不均匀伸展和基底古隆起控制 I 级横向调节带的形成, 岩性组合差异是 II 级横向调节带形成的引发机制, 控注断层的侧列状交替发育是构造 II 级横向调节带形成的动力机制。

关键词:横向调节带; 构造单元划分; 构造演化; 束鹿凹陷

中图分类号: P534.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)04-0690-06

伸展构造体系包含两种构造单元, 一是由半地堑构成的纵向伸展构造体系, 另一个是由于半地堑不同组合方式交替变化形成的调节纵向伸展体系横向变形的横向调节带。

横向调节带(transverse accommodation zone)的概念是在伸展盆地研究中应用了逆冲断层带发育的锁链断层系统(linked)后提出的。茹克^[1]指出, 半地堑是具有成因意义的最基本单元; 伸展盆地内部半地堑的不对称交替变化造成盆地的几何形态、构造样式、伸展形变的分配形式等发生变化, 变化是通过横断层(cross fault)或横向调节带(transverse accommodation zone)来完成的^[2]。

横向调节带广泛存在于伸展构造体系研究中已得到公认^[3], 但对其定义和特征理解尚有很大差异, 研究主要集中在横向调节带的几何形态分类, 对凹陷内部横向调节带形成机制研究较少, 笔者以渤海湾盆地冀中拗陷束鹿凹陷为例, 论述凹陷内部横向调节带的形成机制。

1 束鹿凹陷地质背景和构造单元划分

束鹿凹陷位于渤海湾盆地冀中拗陷南缘, 凹陷走向北北东向, 东部以新河断裂为边界与新河凸起分隔, 西部古近系—新近系沉积岩超覆到宁晋凸起上, 北部衡水断层与深县凹陷分隔, 南部超覆到小刘村凸起, 是典型的东断西超的简单箕状凹陷(图 1)。

束鹿凹陷断裂体系可分为 NNE 向主断裂体系和 NW

向派生断裂体系两种。两种断裂体系相互叠加造成束鹿凹陷构造单元具有东西分带、南北分块的特点。自西向东可分为斜坡带和洼槽带; 自南向北为雷家庄构造、荆丘构造、西槽固构造和台家庄构造(图 2)。

在伸展盆地中, 横向调节带的规模差异很大, 可以是分隔拗陷的大型边界断层, 长期活动, 继承性发育, 贯穿沉积盖层和基底; 也可以仅切割沉积盖层部分层段^[4]。周建生等^[5]据调节带的规模将其划分为 I 级、II 级和 III 级。I 级调节带位于凹陷之间, 调节半地堑、半地垒组合; II 级调节带位于次洼之间; III 级调节带指调节盆地内 II 级断层下降盘向斜的小型鼻状构造。

根据规模和对构造沉积演化的控制作用, 把束鹿凹陷横向调节带划分为两级: I 级横向调节带为分隔次级洼槽的构造单元, 如台家庄横向调节带、荆丘横向调节带, 两个横向调节带走向北西方向, 位于北北东走向的洼槽带中部和北部, 把洼槽带分割成南、中、北 3 个次级洼槽。II 级横向调节带是同沉积断层、重力滑塌断层转向形成的横向调节带, 主要分布在斜坡带, 横向调节断层切割盖层和基岩, 构成断鼻构造, 或与 NNE 走向的伸展断层相交, 构成墙角断层圈闭, 如车城横向调节带。

2 构造演化与横向调节带形成时期分析

束鹿凹陷形成于古近纪始新世, 构造演化经历了以下 3 个阶段:

收稿日期: 2005-03-20; 改回日期: 2005-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372056)资助。

作者简介: 孔冬艳, 女, 1969 年生, 博士生, 主要从事区域地质、地理信息系统研究; E-mail: kongdongyan303@sohu.com。

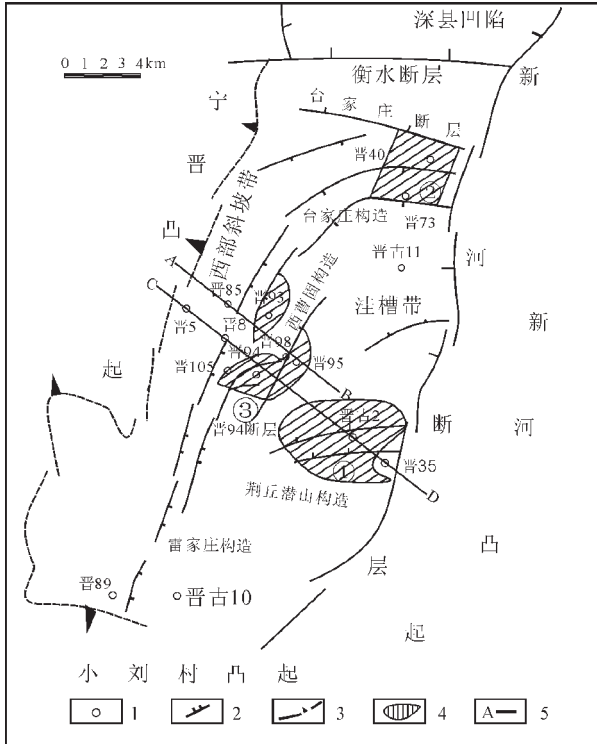


图 1 束鹿凹陷构造单元纲要图

- ①—荆丘横向调节带;②—台家庄横向调节带;
- ③—晋 94—晋 98 井横向调节带;
- 1—井位;2—断层;3—剥蚀线;4—横向变换带;5—剖面线

Fig.1 Outline map showing the structural units of the Shulu subbasin

- ①—Jingqiu transverse accommodation zone; ②—Taijiazhuang transverse accommodation zone; ③—Well Jin94—Jin98 transverse accommodation zone; 1—Drill hole; 2—Fault; 3—Denudation line; 4—Transverse accommodation zone; 5—Section

2.1 凹陷初始断陷时期 (孔店组沉积时期)

晚白垩世渤海湾地区出现大范围的地幔热异常,造成岩石圈热膨胀隆起。新河凸起、宁晋凸起开始隆升,地层向宁晋凸起方向翘倾。古近纪初期形成简单的东断西超格局,构造运动表现为强烈拉张断陷活动,沿宁晋凸起东坡沉积厚层块状砾岩体。

2.2 断陷沉积时期 (E_{3s3}—E_{3d} 沉积时期)

(1)E_{3s3}(沙河街组三段)—E_{3s2}(沙河街组二段)强伸展期

在初始断陷的基础上,束鹿凹陷 E_{3s3} 早期进入伸展断陷强伸展时期,西部宁晋凸起西抬东倾,宁晋凸起东坡形成束鹿凹陷西斜坡。东部新河凸起继续隆升,新河断裂剧烈活动并分解成侧列状展布的 NNE 向断层组系。两条断层首尾连接处断距最小,上盘隆起和下盘洼槽之间的高度差依靠新出现的北西向横向调节断层。NW 向的台家庄断层在 E_{3s3} 时期生长指数为 1.1~1.8 (图 3),与 NNE 向的新河断层生长指数 1.3~1.9 相当,台家庄构造带(横向调节带)、荆丘潜山构造(横向调节带)等 I 级横向调节带均在这一时期形成。

(2)E_{3s1}(沙河街组一段)—E_{3d}(东营组)稳定弱伸展期

E_{3s1} 沉积初期,束鹿凹陷进入稳定弱伸展时期,与 E_{3s3}—E_{3s2} 强伸展期相比,新河断层活动趋缓(图 4)。西部斜坡带来自宁晋凸起的大型三角洲 NW 轴向沿斜坡插入湖区,覆盖在初始断陷时期形成的砾岩体上,由于地层差异压实等作用,砾岩体南北两翼出现 NW 走向断层,部分新出现的 NNE 走向伸展断层向下切割到砾岩体,走向发生偏转,与 NW 向断层构成横向调节带,如晋 94—晋 98 井横向调节带。新河断层 E_{3s1}—E_{3d} 时期生长指数为 1.2~1.5;晋 94 断层 E_{3s1}—E_{3d} 时期生长指数为 1.1~1.3,分析认为晋 94—晋 98 井等 II 级横向调节带形成于稳定弱伸展期。

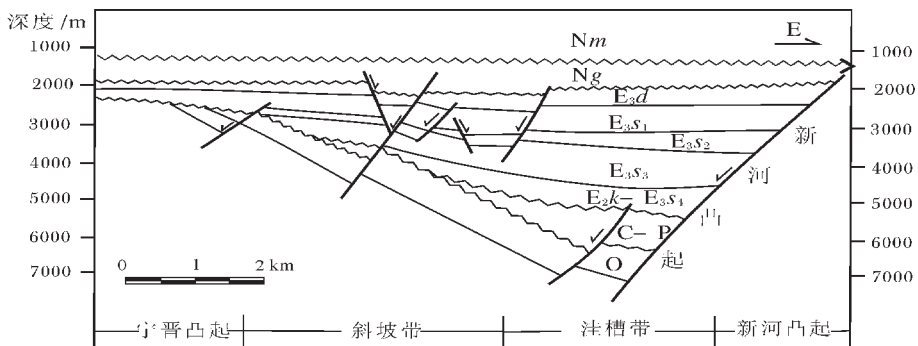


图 2 束鹿凹陷地质解释剖面

- Nm—明化镇组;Ng—馆陶组;E_{3d}—东营组;E_{3s1}—沙河街组一段;E_{3s2}—沙河街组二段;
- E_{3s3}—沙河街组三段;E_{2k}—E_{3s4}—孔店组—沙河街组四段;C—P—石炭系—二叠系;O—奥陶系

Fig.2 Cross section of geological interpretation of the Shulu subbasin

- Nm—Minghuazhen Formation; Ng—Guantao Formation; E_{3d}—Dongying Formation; E_{3s1}—1st member of the Shahejie Formation; E_{3s2}—2nd member of the Shahejie Formation; E_{3s3}—3rd member of the Shahejie Formation; E_{2k}—E_{3s4}—Kongdian Formation and 4th member of the Shahejie Formation; C—P—Carboniferous—Permian; O—Ordovician

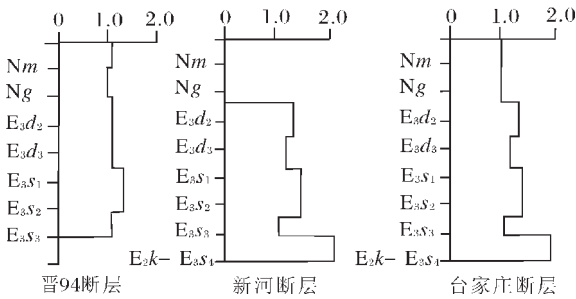


图3 束鹿凹陷主要断层生长指数

Nm—明化镇组; Ng—馆陶组; E_3d_2 —东营组二段; E_3d_3 —东营组三段;
 E_3s_1 —沙河街组一段; E_3s_2 —沙河街组二段; E_3s_3 —沙河街组三段;
 $E_3k-E_3s_4$ —孔店组—沙河街组四段

Fig.3 Mapshowing the growth indices of main faults in the Shulu subbasin

Nm—Minghuazhen Formation; Ng—Guantao Formation;

E_3d_2 —2nd member of the Dongying Formation; E_3d_3 —3rd member of the Dongying Formation; E_3s_1 —1st member of the Shahejie Formation; E_3s_2 —2nd member of the Shahejie Formation; E_3s_3 —3rd member of the Shahejie Formation; $E_3k-E_3s_4$ —Kongdian Formation and 4th member of the Shahejie Formation

2.3 Ng(馆陶组)—Qp(更新统)拗陷沉积时期

束鹿凹陷以及冀中拗陷经历了 E_3d 末期的构造运动,大规模的断陷活动结束。地幔热流衰减,盆地沉降主要受岩石圈降温收缩所控制,进入了拗陷发育阶段,Ng—Qp 地层覆盖了渤海湾盆地内所有凸起和凹陷。

3 横向调节带的形成机制

3.1 边界断层不均匀斜向伸展是 I 级横向调节带形成的因素

凹陷边界断层活动不一致的地区,伸展量的变化容易造成构造形态和凹陷结构的改变,如束鹿凹陷东部边界新河断层沿走向产状和断距发生显著变化,在不同区段表现出不同的几何特征,直接影响其临近沉积凹陷的形态结构。在这些变化之间必然存在不同的伸展变形方式来调节,从而形成了近 NW 向的横向调节带。伸展拉张的差异不但造成盆内主断层具一定的斜向滑移分量,而且为保持伸展平衡,在横向上会产生不同形式的变换带以调整盆地各区段、各时期不同的拉张变化^[4],如台家庄构造(横向调节带)等 I 级横向调节带的形成就是新河断层侧列状展布的结果。

3.2 基底古隆起对 I 级横向调节带形成起重要控制作用

束鹿凹陷是古近纪形成的断陷盆地,凹陷基底在加里东运动抬升之后,遭受长期剥蚀,古近纪地层沉积之前形成沟壑纵横的地貌形态,古隆起被古近纪沉积覆盖形成古潜山^[5]。随着古近系—新近系沉积,基岩块体逐渐被掩埋形成潜山构造。在潜山顶托和差异压实作用下往往产生重力滑动

断层,其走向如果与 NNE 向伸展构造体系断层垂直,就会切割和限制 NNE 向断层,造成潜山构造两端断层组合发生很大变化,形成横向调节带,如荆丘潜山(横向调节带)等 I 级横向调节带。

3.3 岩性组合差异是 II 级横向调节带形成的引发机制

古近系沉积初期,由于边界断层活动剧烈,凹陷内外落差巨大,凹陷长轴方向的剥蚀区是主要物源方向,大量砾石以重力流形式直接搬运进入半深湖—深湖区,被包裹在沙河街组三段下部厚层泥岩地层中,形成多个浊积扇砾岩体。每个浊积砾岩体的厚度 100~500 m,长轴方向与物源方向一致,走向 NW 向,形成凹陷内隆起(图 5)。

根据统计发现由于凹陷内隆起的岩性组合与半深湖区有很大差别,伸展断层切割到隆起区后,一般会发生偏转、分叉、尖灭,走向由 NNE 向为主转为 NW 向,由于岩性组合差异引起横向调节带的发生,如晋 94—晋 98 井横向调节带的形成。

3.4 控注断层的侧列状交替发育是构造 II 级横向调节带形成的动力机制

凹陷内部由于伸展断层侧列状交替发育,把凹陷分割成多个次级注槽,平面上构成洼隆相间的构造格局,两条走向平行伸展断层断距最小处,往往是横向调节带形成的地方,横向调节带类型主要有走向斜坡、横向断鼻等^[6]。

3.5 I 级横向调节带和 II 级横向调节带形成时期

经过对束鹿凹陷横向调节带分布形成进行研究, I 级横向调节带形成时期为调节断层的主要伸展时期。II 级横向调节构造形成时期既不是强伸展时期,也不是挤压时期,而是发生于 $E_3s_1-E_3d$ 稳定弱伸展期,分析原因认为:伸展体系主应力的张剪性应力场必定存在压扭分量,主伸展期压扭分量体现不明显,伸展断层活动弱化之后,压扭分量在应力场中比重增加,横向调节带开始形成;剧烈伸展时期沉积物快速堆积,由于差异压实等作用形成同沉积断层,若受北西向展布的块体控制,往往在强伸展时期后形成 II 级横向调节带。

4 结论与认识

(1)束鹿凹陷的演化过程经历了古近纪 E_3s_3 和 $E_3s_1-E_3d$ 时期 2 个裂陷伸展作用幕和新近纪拗陷作用幕。

(2)伸展盆地中,横向调节带是广泛存在的构造样式,成因多样,束鹿凹陷南北分带、东西分块的构造格局,是伸展构造断裂系统及其横向调节带共同作用的结果,由于束鹿凹陷构造格局简单,横向调节带可以分为两级。

(3)束鹿凹陷 I 级调节带形成于凹陷强烈伸展期, II 级调节带形成于凹陷弱伸展时期。研究认为,边界断裂不均匀伸展和基底古隆起控制 I 级横向调节带的形成;岩性组合差异是 II 级横向调节带形成的引发机制,控注断层的侧列状交替发育是构造 II 级横向调节带形成的动力机制。

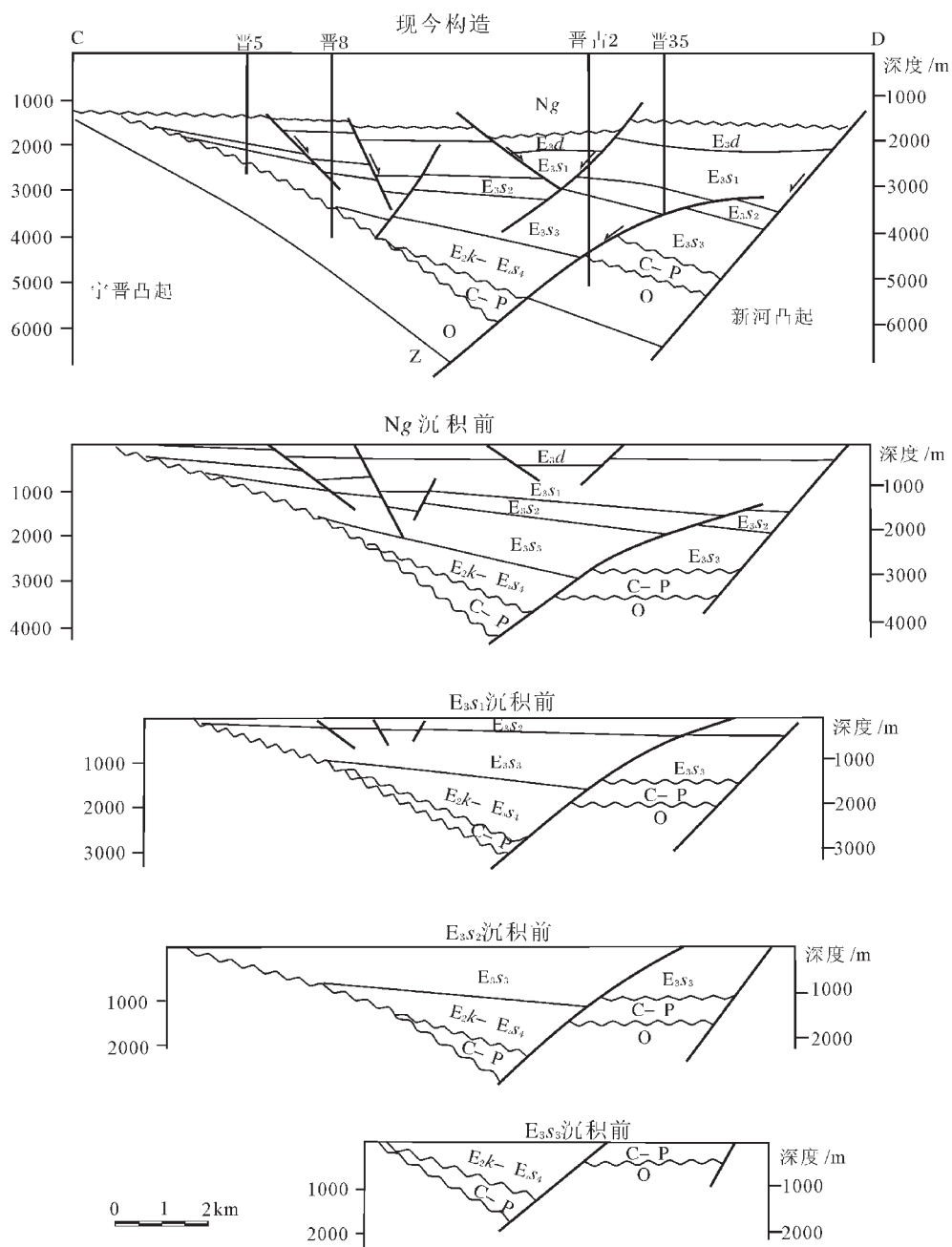


图 4 东鹿凹陷中部构造发育史剖面图

Ng—馆陶组;E_{3d}—东营组;E_{3s1}—沙河街组一段;E_{3s2}—沙河街组二段;E_{3s3}—沙河街组三段;
E_{2k}—E_{3s4}—孔店组—沙河街组四段;C—P—石炭系—二叠系;O—奥陶系;Z—震旦系

Fig.4 Cross section showing the structural evolution history in the central part of the Shulu subbasin

Ng—Guantao Formation;E_{3d}—Dongying Formation;E_{3s1}—1st member of the Shahejie Formation;
E_{3s2}—2nd member of the Shahejie Formation;
E_{3s3}—3rd member of the Shahejie Formation;E_{2k}—E_{3s4}—Kongdian Formation and 4th member of the Shahejie Formation;
C—P—Carboniferous—Permian;O—Ordovician;Z—Sinian

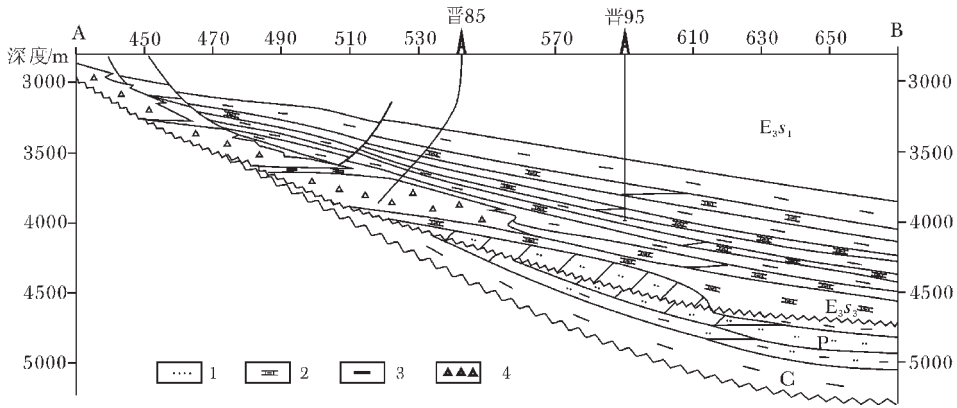


图5 晋95X—晋85井油藏剖面图

1—砂岩;2—泥灰岩;3—泥岩;4—砾岩

E₃s₁—沙河街组一段;E₃s₃—沙河街组三段;P—二叠系;C—石炭系

Fig.5 Reservoir section from wells Jin95X—Jin85

1—Sandstone;2—Marl;3—Mudstone;4—Conglomerate; E₃s₁—1st member of the Shahejie Formation;

E₃s₃—3rd member of the Shahejie Formation;P—Permian;C—Carboniferous

参考文献(References):

[1] 茹克. 裂陷盆地的半地堑分析[J]. 中国海上油气(地质), 1990, 4(6): 1~10.
Ruke. The analysis of half-graben of rifted basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1990, 4(6): 1~10 (in Chinese with English abstract).

[2] 陈发景, 汪新文, 陈昭年, 等. 伸展断陷盆地分析[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 1~150.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Chen Zhaonian, et al. The Analysis of Extensional Faulted Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. 1~150 (in Chinese with English abstract).

[3] 陈发景. 调节带(或传递带)的基本概念和分类[J]. 现代地质, 2003, 17(2): 186.
Chen Fajing. The basic concept and division of the accommodation zone [J]. Geoscience, 2003, 17(2): 186 (in Chinese with English abstract).

[4] 刘德来, 王伟, 马莉. 伸展盆地转换带分析——以松辽盆地北部为例[J]. 地质科技情报, 1994, 13(2): 5~9.
Liu Delai, Wang wei, Ma Li. Transfer zone analysis in extensional basin—a study on Songliao basin[J]. Geological Science and Technology Information, 1994, 13(2): 5~9 (in Chinese with English abstract).

[5] 周建生, 杨池银, 陈发景, 等. 黄骅拗陷横向变换带的构造特征及成因[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 425~433.
Zhou Jiansheng, Yang Chiyin, Chen Fajing, et al. Structural characteristics and origin of transfer zones of the Huanghua depression [J]. Geoscience, 1997, 11(4): 425~433 (in Chinese with English abstract).

[6] 马杏垣. 中国东部中生代裂陷作用和伸展构造[J]. 地质学报, 1981, 57(1): 22~28.
Ma Xingyuan. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 1981, 57(1): 22~28 (in Chinese with English abstract).

[7] 邬光辉, 漆家福. 黄骅盆地一级构造变换带的特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 125~128.
Wu Guanghui, Qi Jiafu. Characteristics and origin of first order transfer zones in Huanghua basin[J]. Oil and Gas Geology, 1999, 20(2): 125~128 (in Chinese with English abstract).

[8] 陆克政. 构造地质学教程[M]. 北京: 石油大学出版社, 1994. 25~120.
Lu Kezheng. The Structural Geology Textbook [M]. Beijing: Petroleum University Press, 1994. 25~120 (in Chinese).

[9] 陈发景. 伸展盆地[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 26~110.
Chen Fajing. The Extensional Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 26~110 (in Chinese).

Origin of the transverse accommodation zone of the Shulu subbasin in the Jizhong depression

KONG Dong-yan¹, SHEN hua², LIU Jing-yan², YIN Wei²

(1. *School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;*

2. *School of Energy Sources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)*

Abstract: The Shulu subbasin lying in the southwestern part of the Jizhong depression is a typical single-downfaulted subbasin in an extensional system. Its structure is simple with a NE extensional fault system and a NW-trending transverse accommodation zone. Based on the evolutionary history and drilling well data of the subbasin, this paper discusses the mechanism and time of formation of this transverse accommodation zone and proposes that the first-order accommodation zone formed in a stage of strong extension of the subbasin, while the second-order accommodation zone formed in a stage of weak extension of the subbasin. The formation of the first-order transverse accommodation zone is controlled by inhomogeneous extension of the boundary fault and basement uplift, the difference in lithologic association is the trigger mechanism of the second-order transverse accommodation zone, and the alternating development of en-echelon faults that control the subbasin is the dynamic mechanism of formation of the second-order transverse accommodation zone.

Key words: transverse accommodation zone; structural units; structural evolution; Shulu subbasin

About the first author: KONG Dong-yan, female, born in 1969, engineer and Ph.D candidate, engages in the research on regional geology and geographic information system; E-mail: kongdongyan303@sohu.com.