

板块俯冲对济阳拗陷形成的制约

叶兴树, 王伟锋

中国石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061

摘要: 为了研究地幔柱、西太平洋板块俯冲对济阳拗陷的影响, 在前人提出的地幔柱观点的基础上, 总结济阳拗陷的地质特征及关于地震震源分布与板块俯冲的研究成果, 发现济阳拗陷的沉积地层、岩浆活动、构造拉张、地热梯度、密度流成因的储集砂体由南而北有规律地分布; 俯冲板块进入地幔的过程实际上构成了地幔对流的下降流, 地幔 660 km(或 670 km)深处是俯冲板块进入地幔后地幔物质调整所引发的上升流的深度; 西太平洋板块向下俯冲时下插角度由南而北减小, 俯冲板块到达地震不连续面的时间自南向北增大, 使地幔柱由南向北迁移, 导致济阳拗陷的地质、地球物理特征具有规律分布的特点。

关键词: 济阳拗陷; 地幔柱; 板块俯冲; 断层。

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2008)02-0235-08

收稿日期: 2007-05-12

Plate Subduction Constrains on the Formation of Jiyang Depression

YE Xing-shu, WANG Wei-feng

Faculty of Geo-resource and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China

Abstract: In order to research the influence of mantle plume tectonics and plate subduction on the Jiyang depression, the geological characteristics of Jiyang depression and the results of the seismic source of earthquake and plate subduction are analyzed based on the preview studies of the mantle plume. The result shows that the sedimentary stratum, the activities of magma, geological extension, the grads of terrestrial, and the reservoir sand are distributed regularly from south to north in Jiyang depression. The process of plate subducting into mantle formed the downwelling of mantle convection, the depth of 660 km (or 670 km) of the mantle is the depth of the upwelling which was adjusted by the matter of mantle after plate subducting into mantle. The downthrust angle of the subduction of western Pacific plate decreases from south to north, and the time of subducted plate reaching the discontinuity surface of earthquake increases from south to north, which resulted in the mantle plume transfer from south to north and regular distribution of the geology, geophysical characteristics from south to north in Jiyang depression.

Key words: Jiyang depression; mantle plume; plate subduction; fault depression.

济阳拗陷位于渤海湾盆地的东南部, 古近纪济阳拗陷转换—伸展盆地是在晚侏罗世—早白垩世负反转盆地的基础上发育而成的北断南超型的断陷盆地。由于其断陷阶段的分割性很强, 形成的各凹陷(或拗陷)都是相对独立或半独立的沉积、沉降单元, 而各个凹陷的断陷起始和结束时期又不完全一致, 导致各断陷旋回在不同凹陷的发育程度有明显差异(任安身和杜公谨, 1989)。济阳拗陷作为我国重要的

成油盆地, 长期以来倍受地质学家的关注, 并提出不同的盆地成因观点(朱光等, 2001; 熊伟等, 2007)。本文在前人提出的地幔柱的观点的基础上, 总结济阳拗陷的地质—地球物理场特征以及近年来关于地幔柱与板块俯冲的关系的研究成果, 从深层次上探讨济阳拗陷的形成机制。

基金项目: 胜利油田有限公司中国石化、国家“十五”科技攻关项目(No. 2001BA605A09-11)。

作者简介: 叶兴树(1975—), 男, 博士研究生, 主要从事石油地质研究, E-mail: yxs3288@yahoo.com

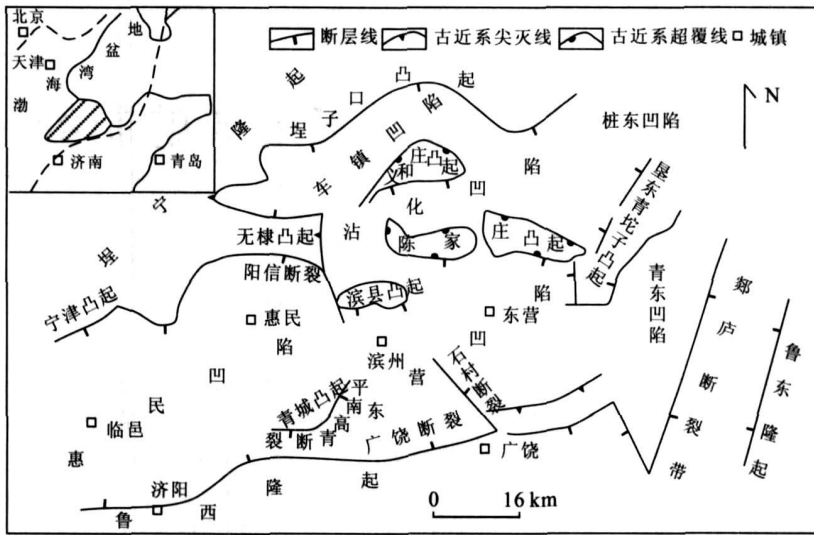


图 1 济阳拗陷构造格局示意图(衣学磊和侯贵廷, 2002)

Fig. 1 The sketch map of the structure pattern in Jiyang depression

1 构造单元划分

济阳拗陷位于渤海湾盆地的东南部, 东部边界为郯庐断裂, 南部边界是齐广断裂, 西部和北部以断裂为界与埕宁隆起相邻(图 1). 内部划分为 6 个凹陷和 7 个凸起 13 个亚一级构造单元, 它们是东营凹陷、惠民凹陷、沾化凹陷、车镇凹陷、青东凹陷、桩东凹陷、广饶凸起、青城凸起、滨县凸起、陈家庄凸起、义和庄凸起、垦东凸起、青坨子凸起. 凹陷是济阳拗陷内的次级负向构造单元, 分布有较厚的古近系沉积地层, 凸起是济阳拗陷内的次级正向构造单元, 缺失古近系沉积地层.

2 济阳拗陷及其邻区的地质、地球物理特征

尽管济阳拗陷及其所处的渤海湾盆地的内部构造、沉积特征复杂, 次级凹陷发育, 构造样式、沉积相类型多样, 但其总体上具有规律性.

2.1 构造特征

渤海湾地区在中生代晚期受燕山运动影响发生了强烈的张裂断陷(陆克政等, 1997). 由于其断陷阶段的分割性很强, 形成的各凹陷(或拗陷)都是相对独立或半独立的沉积沉降单元, 而各个凹陷的断陷起始和结束时期又不完全一致, 导致各断陷旋回在不同凹陷的发育程度有明显差异. 尽管各凹陷或凹

陷中的各洼陷基底沉降速率及变化各有不同, 但都存在明显的旋回性, 综合起来都可以划分出拉分断陷期和拗陷期(后拉分期)两大阶段. 断陷期沉降速率大, 变化快; 拗陷期沉降速率较小, 且变化慢. 济阳拗陷古近系的演化发育 3 个断陷期分别为: 初始强烈断陷期(孔店—沙四时期)、持续断陷期(沙三—沙二时期)、扩展断陷期(沙一—东营时期); 新近系到第四系属拗陷期(图 2)(陈洁, 2003).

在晚期形成的洼陷中只发育了后两个断陷期, 第一断陷期基本未发育, 如孤南洼陷和大王北洼陷, 反映了主控断层(如孤南断层和埕南断层中段)发育较晚; 在晚期衰退的洼陷中只发育了前两个断陷期, 第三断陷期基本未发育, 如阳信洼陷, 反映主控断层(无棣南断层东支)后期衰亡. 东营凹陷、临邑洼陷、车西洼陷、郭局子洼陷、渤南洼陷和孤北洼陷发育了完整的 3 个断陷期, 但程度不同. 第一断陷期以东营凹陷、惠民凹陷发育较好, 第二断陷期全区发育均较好, 第三断陷期则以沾化凹陷发育较好, 反映了沉降中心自西南向东北的迁移过程(肖焕钦等, 2002).

2.2 沉积特征

济阳拗陷由于断陷活动发育, 断裂对沉积的控制作用在各凹陷也不同. 从济阳拗陷沉积地层等厚图中可以看出, 沙三中期沉积中心主要处于惠民凹陷和东营凹陷, 分布范围较广, 惠民凹陷沉积厚度最大为 400 m, 东营凹陷最大达到 600 m, 主要发育在边界断层处, 而沾化凹陷、车镇凹陷沉积厚度为 200 m 左右, 其分布范围较小(图 3); 东营晚期由于

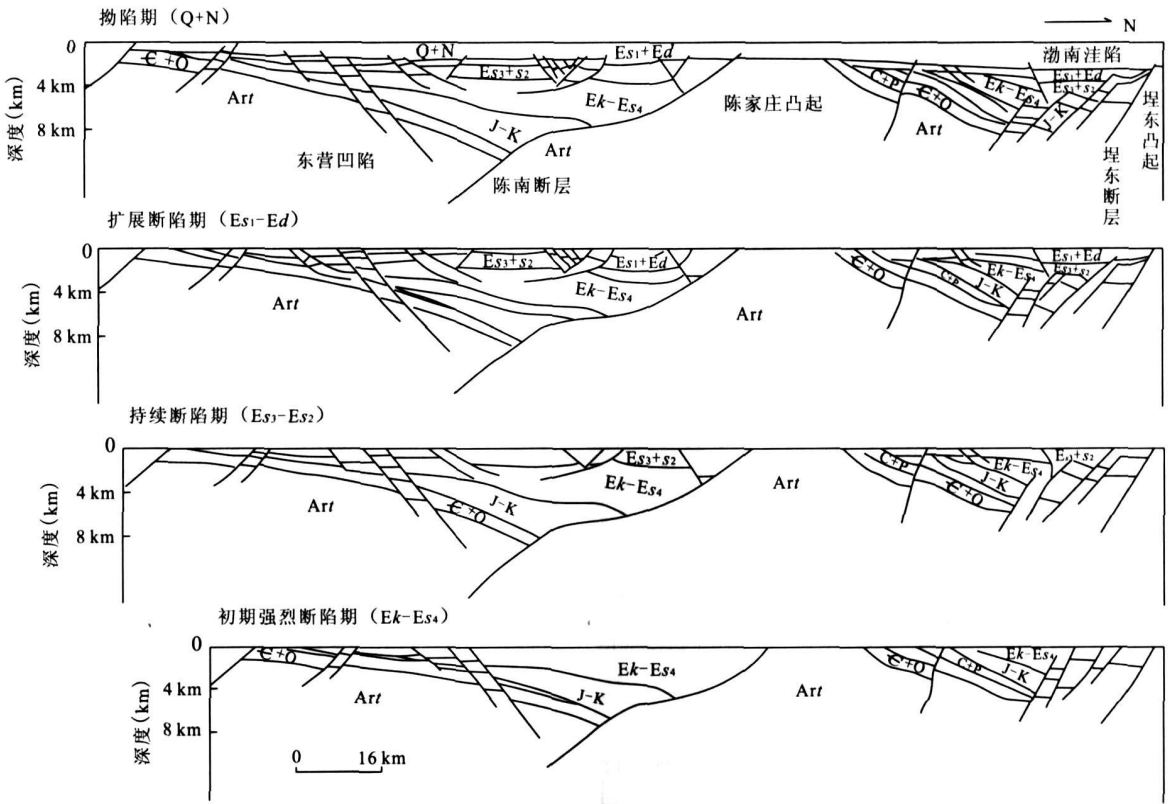


图 2 济阳拗陷南北向构造演化剖面(628.7 测线)(肖焕钦等,2002)

Fig. 2 SN evolutionary tectonic profiles (of traverse 628.7) in Jiyang depression

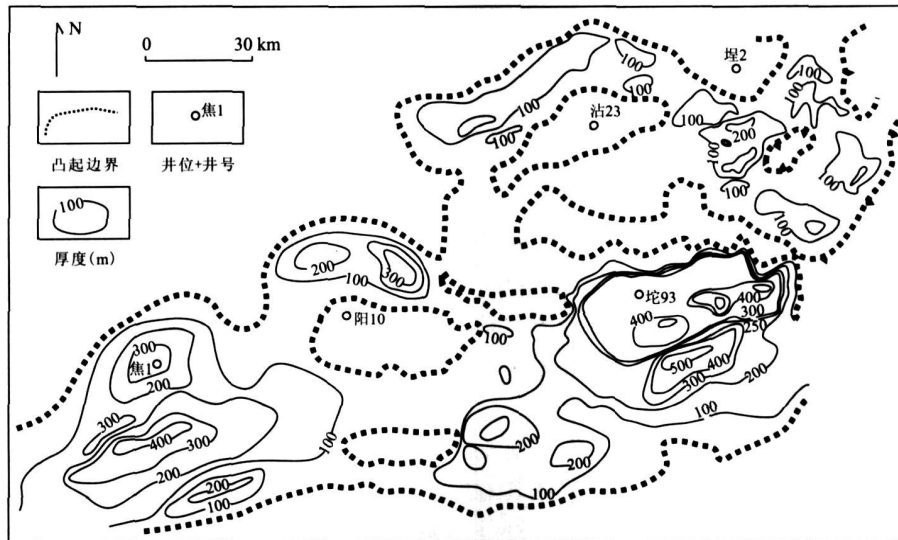


图 3 济阳拗陷沙三中后期沉积等厚图

Fig. 3 Contours of the depression thickness of Es_3^H in Jiyang depression

活动强烈, 沾化凹陷、车镇凹陷沉积范围、厚度较大, 沉积厚度最大处于沾化凹陷, 为 500 m, 而东营凹陷最大仅为 300 m(图 4), 反映了自古近系以来, 沉积中心逐渐由南向北迁移的特点。

通过对渤海湾盆地的研究也表明, 渤海湾盆地的沉降、沉积中心也具有由南往北迁移的特点(龚再升等, 2000; 王华等, 2002)。

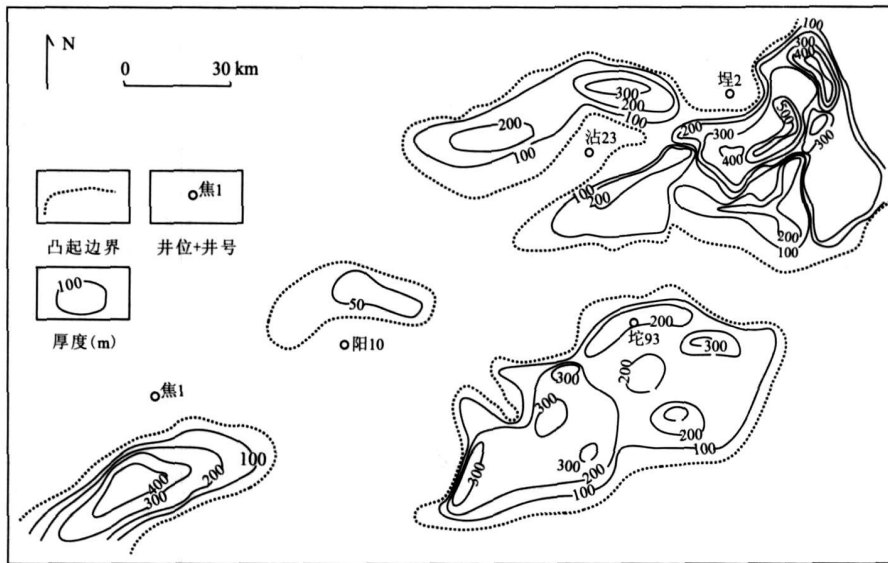


图 4 济阳拗陷东营晚期沉积等厚图

Fig. 4 Contours of the depression thickness of Ed^{\pm} in Jiyang depression

2.3 岩浆活动

火山岩浆活动中心也呈现出由南到北迁移的特点(陆现彩等, 1998; 王华等, 2002). 岩性由南到北和由早第三纪到第四纪均表现为以碱性玄武岩、苦橄岩为主变化为以拉斑玄武岩为主的特征, 其中 40.40 Ma 和 24.94 Ma 为 2 个主要活动期(宗国洪等, 1999).

2.4 地热梯度

在渤海湾地区沿辽东湾—庙岛一线存在北东向重力正异常带(孙若昧等, 1993; 宗国洪等, 1999), 另一方面, 在济阳拗陷东北部的渤海海域内存在一个“渤中重力高区”(李德生, 1982), 地壳厚度为 28 km, 被众多学者认为是地幔柱的表现(李德生, 1980, 1982; 朱夏, 1986), 该区正是整个渤海湾盆地新第三系以来构造沉降量、地热梯度最大及岩浆活动也相对强烈的地区(龚育龄等, 2005).

2001 年朱光等通过对郯庐断裂带的伸展活动的发生时间和迁移现象的确定的研究, 并总体具有向北迁移的规律(朱光等, 2001).

目前, 胜利油区的勘探实践表明, 济阳拗陷中的烃源岩层由南向北逐渐年轻, 密度流成因的储集砂体也有相似特征(陆现彩等, 1998).

3 地幔柱构造与断陷盆地的形成

幔柱是指起源于核幔边界在地幔中上升的热物质流, 其地表表现为热点. 地幔柱的上侵一方面是巨大热浮力引起地壳单纯的隆升, 一方面诱发地幔岩、下地壳部分熔融形成基性、偏酸性岩浆喷出地表, 从而致使地区性断陷以及后期拗陷的发生.

地幔柱引发的底侵作用是地壳隆升、拉伸和滑脱的主要机制(金振民和高山, 1996), 这种上升在 1~10 Ma 内完成, 从而造成周边盆地内出现大量碎屑沉积, 特别是密度流沉积(衣学磊和侯贵廷, 2002). 模拟实验表明, 由于地幔流的上升, 地壳表层拉张, 在上升区域(如陈家庄凸起、埕宁隆起、埕子口凸起等)的两侧出现深大断裂(如济阳拗陷的陈南断裂、陵县—阳信断裂、齐河—广饶断裂、埕南断裂等), 内部发育正断层, 在地质历史上会出现非常陡峭的地堑, 引发沉积物的快速沉积(陆现彩等, 1998), 如东营凹陷的利津洼陷、惠民凹陷的阳信和滋镇洼陷、车镇洼陷的车西洼陷等沉积的浊积扇、近岸水下扇等沉积. 尽管盆地的充填受构造、气候和碎屑物供应、海平面变化等多种因素控制, 但归根结底只受构造和气候的控制, 因为盆地沉降和古地貌环境都是构造运动的结果, 所以, 盆地沉积与地幔柱活动甚至与整个地幔对流系统间有着密切的联系(刘和甫, 1997). 同样, 盆地充填状况也反映了地幔柱活动的规律, 二者之间存在一定的定量关系(陆现彩等, 1998).

Morgan(1971)明确提出了地幔柱概念, 所谓地

4 地幔柱由南向北迁移的主控因素

地幔柱由南向北迁移是济阳拗陷的沉降中心、沉积中心、断裂伸展活动、岩浆活动、构造拉张、地热梯度、密度流成因的储集砂体由南向北迁移的主要原因。至于地幔柱为什么由南向北迁移, 前人主要持3种观点: 其一是与太平洋板块俯冲和印度板块向北东推挤碰撞有关(李德生, 1980, 1982; 朱夏, 1986; 虞廷林, 1994; 侯贵廷等, 1998; 陆现彩等, 1998; 胡望水等, 2003; 吴富强等, 2003; 肖龙等, 2004); 其二是与太平洋板块俯冲的方向即华北板块受力的方向以及地幔物质热均衡被破坏后初始运动方向有关(李武显和周新民, 1999; 朱光等, 2001); 其三是波动说(张一伟, 1983; 吕修祥等, 1996)。作者在前人对地球物理、西太平洋板块俯冲等研究的基础上, 提出新的认识。

4.1 地震不连续面

地幔是不均一的, 地幔660 km深处存在一个地震不连续面(Wen and Anderson, 1995)。地幔660 km(或670 km)深处是俯冲板块演化过程中发生重要变化的关键环节, 俯冲板块在这里的确发生了一些变化: ①俯冲板块在此深度上有一段时间的停滞; ② $(Mg, Fe)_2SiO_4$ 体系的矿物相发生转化, 进一步使俯冲体及其周边地幔物质的温度降低, 低温体体积增大, 地震高速区增大, 易引发地震; ③随着温度回升, 俯冲体不稳定, 分解成一些不规则的小块体(路凤香等, 2006; 郑建平等, 2006); ④俯冲体的形态由席状转化为柱状或团状(陆现彩等, 1998)。俯冲板块进入地幔的过程实际上构成了地幔对流的下降流。地幔对流是地幔物质循环方式(李德生, 1982), 地幔对流施加在板块基底上的牵引力驱动了全球的板块运动(Ziegler *et al.*, 1992)。

4.2 震源深度分布与板块俯冲形态

在板块运动的研究中, 对西太平洋板块俯冲、日本海和中国东北的震源深度分布、深震和中国大陆浅源中强震相关分析等问题研究得较为深入。马宗晋在“板块构造与地震”一文中提出了板舌构造的概念, 并认为日本弧是由一个走向南北、倾向西的长舌和走向东西、倾向北的短舌构成。赵振(1991)研究了日本海中深源地震活动特征, 提出太平洋板块在日本海沟直接插入中国东北并在两端上翘的凹型, 而且西太平洋板块和欧亚板块之间夹着菲律宾板块, 因此西太平洋板块俯冲过程中在中国大陆东部的不

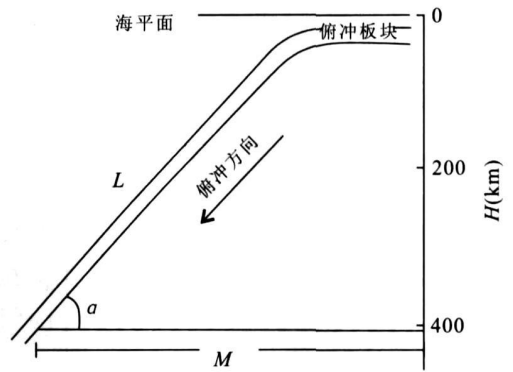


图5 西太平洋板块俯冲示意图

Fig. 5 Sketch map of western Pacific plate subduction

同部位的俯冲形态有很大区别。

孟宪森等(2003)等通过对西太平洋板块的俯冲状态下震源深度分布进行了研究, 在西太平洋板块和欧亚板块及菲律宾板块接触时, 由于菲律宾板块的阻挡, 在菲律宾板块的正面的板舌($18^{\circ} \sim 19^{\circ}N$, $14^{\circ} \sim 19^{\circ}E$)几乎直立下插, 由于直立下插的拖拽力形成了世界最深的马里亚那海沟; 从菲律宾板块正面向北到日本的本洲岛东京, 西太平洋板块下插角度逐渐减小, 至千岛岛弧又逐渐增大; 并且其震源深度分布在不同部位表现不同: 在日本海沟表现为小角度俯冲, 震源深度从日本岛向西逐步加深, 中国东北的深震位于这一倾斜带的最西端, 延伸近1100 km, 从日本海到马里亚那海沟俯冲带延伸逐步缩短, 在马里亚那海沟延伸仅185 km, 震源深度就达到了地震不连续面。

运用几何方法, 假设西太平洋板块在欧亚板块之下以某一角度(α)向下俯冲(图5), 板舌俯冲速度为 v , 地震不连续面深度为 H , 板舌到达地震不连续面时的板块俯冲的长度为 L , 板舌到达地震不连续面时的板块俯冲的海平面位移为 M , 板舌俯冲至地震不连续面所花费的时间为 T , 其中 H 、 v 值为恒量(同一板块俯冲速度一致), 则有(1)式:

$$L = v \times T, \quad (1)$$

通过角度换算, 得出(2)和(3)式:

$$H = L \times \sin \alpha = v \times T \times \sin \alpha, \quad (2)$$

$$M = L \times \cos \alpha = v \times T \times \cos \alpha. \quad (3)$$

式中, H 、 v 值为恒量, 随着西太平洋板块从菲律宾板块正面向北到日本的本洲岛东京下插角度(α)的减小, 板舌俯冲至地震不连续面所花费的时间(T)从南往北增大; 板舌俯冲至地震不连续面在平面上的位移从南往北有向中国大陆延伸的趋势。

因此,通过对震源深度分布的分析,随着西太平洋板块从菲律宾板块正面向北到日本的本洲岛东京下插角度减小,板舌俯冲到达地震不连续面所经历的时间由南而北增大,导致地幔柱(板舌到达地震不连续面后形成地幔对流的上升流—地幔中上升的热物质流)由南向北迁移,这也即是济阳拗陷的沉降中心、沉积中心、断裂伸展活动、岩浆活动、构造拉张、地热梯度、密度流成因的储集砂体由南向北迁移的间接原因。

5 结论

(1)济阳拗陷的沉积地层、岩浆活动、构造拉张、地热梯度、密度流成因的储集砂体具有由南而北的有规律分布的特点。

(2)地幔 660 km (或 670 km)深处是俯冲板块演化过程中发生地幔对流的界面;地幔对流形成的地幔柱是引起地表隆起、地壳拉伸、岩浆活动、密度流成因的沉积体以及地表缓慢下陷形成断陷盆地的主要原因。

(3)西太平洋板块向欧亚板块俯冲时,随着其下插角度由南而北减小,使俯冲板块到达地震不连续面的时间从南往北增大,引起地幔柱由南而北迁移,这是济阳拗陷沉积地层、岩浆活动、构造拉张、地热梯度、烃源岩层及密度流成因的储集砂体具有由南而北有规律地分布的间接原因。

References

- Chen, J., 2003. Tectonic sequence of Tertiary in Jiyang depression and its evolution. *Progress in Geophysics*, 18 (4): 700—706 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Y. L., Wang L. S., Liu, S. W., et al., 2005. Mantle heat flow and deep temperature of Jiyang depression, Shandong, North China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30 (1): 121—128 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z. S., Wang G. C., He, Q., 2000. The Neogene: A main realm of hydrocarbon exploration in Bozhong sag and its surrounding areas. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 14(3): 145—156 (in Chinese with English abstract).
- Hou, G. T., Qian, X. L., Song, X. M., 1998. The origin of the Bohai Bay basin. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 34(4): 503—509 (in Chinese with English abstract).
- Hu, W. S., Lü, B. Q., Guan, D. Y., et al., 2003. Characteristics of Tanlu fault zone and development of Mesozoic and Cenozoic basins along it. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 23(4): 51—57 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Z. M., Gao, S., 1996. Underplating and its geodynamical significances for the evolution of crust-mantle boundary. *Geological Science and Technology Information*, 15 (2): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. S., 1980. Geological structure characteristics and the distribution regular of hydrocarbon-bearing in Bohai Bay basin. *Marine Geology Research*, 1: 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. S., 1982. The structural characters of hydrocarbon-bearing basins in the east of China. *Petroleum Exploration and Development*, 9 (2): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. X., Zhou, X. M., 1999. Late Mesozoic subduction zone of southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 5(2): 164—169 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. F., 1997. Evolution of basins relation to geodynamic cycles. *Earth Science Frontiers*, 4(3—4): 233—240 (in Chinese with English abstract).
- Lu, F. X., Zhang, J. P., Zhang, R. S., et al., 2006. Interaction between crust and weakening lithospheric mantle: Taking the Yanshan orogenic belt as an example. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31 (1): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Lu, K. Z., Qi, J. F., Dai, J. S., et al., 1997. The structural pattern of hydrocarbon-bearing basins in Cenozoic in Bohai Bay basin. Geological Publishing House, Beijing, 221—231 (in Chinese).
- Lu, X. C., Hu, W. X., Gu, L. X., 1998. Mantle convection and its impact on the extending basins. *Earth Science Frontiers*, 5: 184—190 (in Chinese with English abstract).
- Lü, X. X., Zhang, Y. W., Li, D. S., 1996. The distribution of oil and gas from the view point of wave in Jiyang depression in Bohai Bay basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 18(3): 259—266 (in Chinese with English abstract).
- Meng, X. S., Zheng, H., Jiang, J. H., 2003. Western Pacific plate downthrust and earthquake activity in Northeast and North China. *Seismological Research of Northeast China*, 19(1): 12—18 (in Chinese with English abstract).

- stract).
- Morgan, W. J., 1971. Convection plumes in the lower mantle. *Nature*, 230: 42—43.
- Ren, A. S., Du, G. J., 1989. Tectonic characteristics and petroleum exploration in Jiyang depression. In: Tian, Z. Y., ed., *Structural characteristics of Chinese oil-gas-bearing area*. Petroleum Industry Press, Beijing, 128—137 (in Chinese).
- Sun, R. M., Zhao, Y. L., Mei, S. R., 1993. Seismic tomographic image in Bohai Sea and its adjacent area. *Acta Geophysica Sinica*, 36(1): 44—54 (in Chinese with English abstract).
- Wang, H., Wang, F. Z., Zhou, H. M., et al., 2002. The evolution dynamics and pool formation dynamics in Nanpu Sag of Bohaiwan basin. China University of Geosciences Press, Wuhan, 182 (in Chinese).
- Wen, L., Anderson, D. L., 1995. The fate of slabs inferred from seismic tomography and 130 million years of subduction. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 133: 185—198.
- Wu, F. Q., Wang, X. K., Hu, X., et al., 2002. Discussion on Paleogene Jiyang depression characteristics and its forming mechanism. *Xinjiang Petroleum Geology*, 23(2): 114—116 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, H. Q., Chen, G. J., Li, C. B., 2002. Basin in extensional mount of the Jiyang depression and its petroleum geological significance. *Petroleum Geology & Experiment*, 24(1): 13—18 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, L., Wang, F. Z., Wang, H., et al., 2004. Mantle plume tectonics constraints on the formation of Songliao and Bohaiwan basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(3): 283—292 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, W., Min, W., Shang, B., et al., 2007. Strata reservoir forming mode in Jiyang depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 219—226 (in Chinese with English abstract).
- Yi, X. L., Hou, G. T., 2002. A Study of intensity of the faults activity in Jiyang depression in Mesozoic and Cenozoic. *Acta Scientiarum Naturalium (Universitatis Pekinensis)*, 38(4): 504—509 (in Chinese with English abstract).
- Yu, T. L., 1994. Stress field and plate motions eastern area of China. *Journal of Seismology*, 2: 13—17 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. W., 1983. Discussion on the formation of dustparlike sag in western Shandong—Remarks on earth crust undulating movement. *Acta Petrolei Sinica*, 4(4): (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z., 1991. Some seismicity characteristic of intermediate and deep earthquakes in and near Japan sea. *Seismological Research of Northeast China*, 17(12): 1—16 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, J. P., Lu, F. X., Yu, C. M., et al., 2006. Peridotitic petrochemistry of the Eastern North China; Significance for lithospheric mantle evolution. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(1): 49—56 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, G., Wang, D. X., Liu, G. S., et al., 2001. Extensional activities along the Tanlu fault zone and its geodynamic setting. *Chinese Journal of Geology*, 36(3): 269—278 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X., 1986. Structure of Chinese oil-gas-bearing basins. Petroleum Industry Press Beijing, 1—366 (in Chinese).
- Ziegler, P. A., 1992. Plate tectonics, plate moving mechanisms and rifting. *Tectonophysics*, 215: 9—34.
- Zong, G. H., Xiao, H. Q., Li, C. B., et al., 1999. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications. *Geological Journal of China Universities*, 5(3): 275—282 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈洁, 2003. 济阳拗陷第三系构造层序及其演化. *地球物理学进展*, 18(4): 700—706.
- 龚育龄, 王良书, 刘绍文, 等, 2005. 济阳拗陷地幔热流和深部温度. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(1): 121—128.
- 龚再升, 王国纯, 贺清, 2000. 上第三系是渤中拗陷及其周围油气勘探的主要领域. *中国海上油气(地质)*, 14(3): 145—156.
- 侯贵廷, 钱祥麟, 宋新民, 1998. 渤海湾盆地形成机制研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 34(4): 503—509.
- 胡望水, 吕炳全, 官大勇, 等, 2003. 郯庐断裂带及其周缘中新代盆地发育特征. *海洋地质与第四纪地质*, 23(4): 51—57.
- 金振民, 高山, 1996. 底侵作用(underplating)及其壳幔演化动力学意义. *地质科技情报*, 15(2): 1—7.
- 李德生, 1980. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气田分布规律. *海洋地质研究*, 1: 1—8.
- 李德生, 1982. 中国东部含油气盆地的构造特征. *石油勘探和开发*, 9(2): 1—6.
- 李武显, 周新民, 1999. 中国东南部晚中生代俯冲带探索. *高校地质学报*, 5(2): 164—169.
- 刘和甫, 1997. 盆地演化与地球动力学旋回. *地学前缘*, 4(3—

- 4); 233—240.
- 路凤香, 郑建平, 张瑞生, 等. 2006. 地壳与弱化岩石圈地幔的相互作用: 以燕山造山带为例. 地球科学——中国地质大学学报, 31(1): 1—7.
- 陆克政, 漆家福, 戴俊生, 等. 1997. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式. 北京: 地质出版社, 221—231.
- 陆现彩, 胡文瑄, 顾连兴. 1998. 地幔对流及其对地壳表层拉伸盆地的影响. 地学前缘, 5: 184—190.
- 吕修祥, 张一伟, 李德生. 1996. 从波动观点渤海湾盆地济阳拗陷油气田分布. 石油实验地质, 18(3): 259—266.
- 孟宪森, 郑辉, 姜锦华. 2003. 西太平洋板块俯冲与我国东北和华北块体地震活动. 东北地震研究, 19(1): 12—18.
- 任安身, 杜公谨. 1989. 济阳拗陷构造特征及油气勘探. 田在艺. 中国含油气区构造特征. 北京: 石油工业出版社, 128—137.
- 孙若昧, 赵燕来, 梅世蓉. 1993. 渤海及其邻区的地震层析成像. 地球物理学报, 36(1): 44—54.
- 王华, 王方正, 周海明, 等. 2002. 渤海湾盆地南堡凹陷演化的动力学和成藏动力学. 武汉: 中国地质大学出版社, 182.
- 吴富强, 汪小昆, 胡雪, 等. 2002. 早第三纪济阳拗陷的性质. 新疆石油地质, 23(2): 114—116.
- 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(10): 13—18.
- 肖龙, 王方正, 王华, 等. 2004. 地幔柱构造对松辽盆地及渤海湾盆地形成的制约. 地球科学——中国地质大学学报, 29(3): 283—292.
- 熊伟, 闵伟, 尚冰, 等. 2007. 济阳拗陷地层型油气藏成藏模式. 地球科学——中国地质大学学报, 32(2): 219—226.
- 衣学磊, 侯贵廷. 2002. 济阳拗陷中、新生代断裂活动强度研究. 北京大学学报(自然科学版), 38(4): 504—509.
- 虞廷林. 1994. 中国东部应力场与板块运动. 地震学刊, 2: 13—17.
- 张一伟. 1983. 山东西部箕状凹陷形成的探讨——初论地壳波状运动. 石油学报, 4(4).
- 赵振. 1991. 日本海中深源地震活动特征. 东北地震研究, 17(12): 1—16.
- 郑建平, 路凤香, 余淳梅, 等. 2006. 华北东部橄榄岩岩石化学特征及其岩石圈地幔演化意义. 地球科学——中国地质大学学报, 31(1): 49—56.
- 朱光, 王道轩, 刘国生, 等. 2001. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景. 地质科学, 36(3): 269—278.
- 朱夏. 1986. 论中国含油气盆地构造. 北京: 石油工业出版社, 1—366.
- 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝, 等. 1999. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义. 高校地质学报, 5(3): 275—282.