

# 歧口凹陷古近纪东营期古物源体系重建与应用

王 华, 白云凤, 黄传炎, 严德天, 刘彦博,  
陈 思, 向雪梅, 廖计华, 夏存银, 赵淑娥

中国地质大学资源学院, 构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

**摘要:** 以沉积盆地分析、层序地层研究和油气勘探实践中急待解决的古物源体系分析为切入点, 以歧口凹陷东营组研究为例, 阐述了古物源体系研究的途径、方法与技术路线; 初步总结出应用轻—重矿物时空配置关系、地震前积反射结构特征、古地貌恢复与沟谷展布特征、盆地内部骨架砂体形态与时空配置以及盆地边缘及内部层序界面上大型下切谷的空间展布特征, 即“五位合一”法来判断沉积盆地的古物源体系。该分析方法可为同领域的研究提供借鉴作用。

**关键词:** 歧口凹陷; 东营组; 古物源体系。

**中图分类号:** P618.13

**文章编号:** 1000-2383(2009)03-0448-09

**收稿日期:** 2008-12-10

## Reconstruction and Application of the Paleogene Provenance System of the Dongying Formation in Qikou Depression

WANG Hua, BAI Yun-feng, HUANG Chuan-yan, YAN De-tian, LIU Yan-bo,  
CHEN Si, XIANG Xue-mei, LIAO Ji-hua, XIA Cun-yin, ZHAO Shu-e

*Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*

**Abstract:** The paleoprovenance system analysis is critical in terms of present sedimentary basin analysis, sequence stratigraphy study, and petroleum exploration practice. In this paper, we present a preliminarily summary of applying the “five-in-one” method to study provenance system of the Dongying Formation in the Qikou depression. The so-called “five-in-one” method is a compositive analysis of light-heavy minerals, seismic progradational reflection structure features, paleogeomorphology and gully expansion features, skeleton sand body forms within the basin and the time-space expansion and matching rules analysis, and basin margin and the spatial expansion features analysis of large-scale incised valley developed in its internal sequence boundary. This method undoubtedly provides a reference for the researches of other basins within the same field. However, we know that provenance analysis of sedimentary basin is a complicated job. With the development of science and technology, and the increase of basin data obtained, it will apply on the field together with more effective methods and technologies. It will also further approach the real status of provenance system, and provide better service for petroleum exploration.

**Key words:** Qikou depression; Dongying Formation; Paleogene provenance system.

古物源体系分析是含油气盆地分析中的一项重要工作, 在确定物源区位置、沉积物搬运路径和原盆地恢复等方面有重要意义(Haughton *et al.*, 1991; 汪正江等, 2000)。物源体系的展布特征主要受控于同沉积期的古构造格局和古地理面貌(Johnson and Winter, 1999; Stevenson *et al.*, 2000; 邓宏文等,

2001; 闫义等, 2002)。因此, 古物源分析除需要了解构造背景外, 还需查清堆积物的主要供给通道以及起沟通、阻挡和分隔作用的古地貌单元, 如古断层、古斜坡、古沟谷和古凸起等。古物源体系展布决定了同沉积期的层序构成样式、沉积相类型及其时空分布, 进而对油气藏的形成和分布起着主导作用。因

此,古物源体系恢复是寻找油气藏的有效方法(张吉林等, 2002). 对古物源的判定与分析方法很多 (McLennan *et al.*, 1993; Sambridge and Compston, 1994; Sherlock *et al.*, 2000; 和 钟 铨 等, 2001), 但实践表明任何一种研究方法在独立使用过程中均存在一定的局限性 (Taylor and McLennan, 1985). 因此, 针对某一个研究区综合使用多种方法与途径来重新构建其物源体系, 将是当前一段时间内的重要选择.

东营组的物源问题一直是歧口凹陷油气勘探的难点 (李 珍 等, 1998; 陈 纯 芳 等, 2001; 白 云 凤 等, 2006, 2008). 究竟存在几个物源? 它们对盆地腹地的影响如何? 能否形成大型的低位体和高效储层都是亟待解决的问题. 本文采用轻、重矿物时空配置、地震前积反射特征、古地貌特征、砂体变化趋势和沟谷体系等方法, 对歧口凹陷东营组堆积期的古物源

体系进行了综合研究.

1 研究区的地质背景

黄骅拗陷是早第三纪以来形成的新生代陆内伸展盆地, 它以伸展构造为主, 并发育与之相关的伸展变换构造 (王子煜等, 2000). 伸展构造多期活动, 产生正断层控制的箕状半地堑、地堑和半地堑、地堑. 伸展变换带以纵向位移变换带、横向凸起变换带为特征, 控制伸展断层组合和沉积凹陷的展布和发育. 伸展构造和变换构造两种构造体系决定了盆地具有“南北分块、东西分带”的构造格局 (王子煜等, 2000; 林畅松, 2006) (图 1). 随着盆地的演化, 黄骅拗陷经历了初始裂陷期、裂陷兴盛发展期和裂陷稳定衰退期 3 个阶段 (林畅松, 2006).

歧口凹陷位于黄骅拗陷中部, 南起埕宁隆起, 北

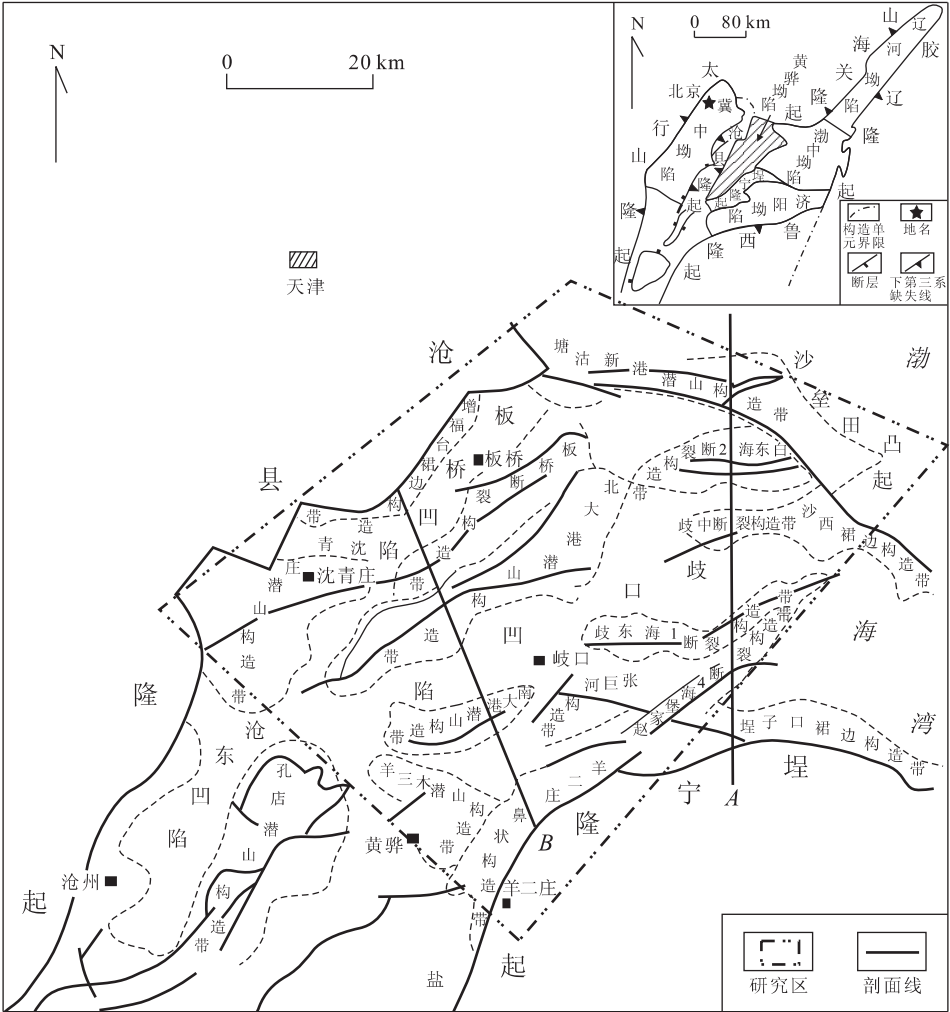


图 1 歧口凹陷构造位置图(A、B 为图 2、3 地震剖面的位置)  
Fig. 1 Tectonic location map of Qikou depression







2.3 古地貌恢复与沟谷展布特征分析

古地貌对沉积体系的展布有重要控制作用,通过对古地貌的分析可以确定盆地的隆洼展布形态,从而确定盆地的物源方向及物源区的位置(赵俊兴等,2001). 古地貌深度等值线及立体图可以显示各个 3 级地貌单元(可称之为微地貌)的细节行为,这些微地貌则严格地控制了古物源在空间上的展布(王家豪等,2003).

通过对歧口凹陷东营组重要层序界面的古地貌分析,可以直观地看出这 4 个重要层序发育时期的“沟—谷—脊—槽”等地貌单元在地理空间上的变化,为物源分析奠定了坚实的基础(图 6). 总体上,歧口凹陷东营组沉积期的古地貌特征体现出三隆夹一洼的构造特征. 燕山褶皱带、沧县隆起及埕宁隆起围绕着歧口凹陷分布. 这 3 个隆起区是歧口凹陷东营组沉积时期的重要物源区,但是由于南大港潜山带和北大港潜山带的影响,这 3 个物源区对盆地内部沉积物的展布有不同的控制作用. 北大港潜山带和南大港潜山带将歧口凹陷分隔成板桥凹陷、歧北凹陷和歧南凹陷. 凹陷内的隆凹格局明显,沉积物由物源区搬运过来顺着盆地内的沟谷区前进,直到盆地内的深凹区沉积下来. 燕山褶皱带的砂体越过北塘凹陷在白东地区沉积,沧县隆起提供的物源对板桥凹陷和北大港地区的沉积物起控制作用,埕宁隆

起的物源影响范围较小,仅局限于张巨河和羊二庄地区. 除此之外,黄骅拗陷西南部有一个地势较高的隆起区,经过一个缓坡与拗陷区相连,此物源区为孔店地区和歧口凹陷的西南部供源(图 6).

2.4 盆地内部骨架砂体形态及配置规律分析

砂分散体系的空间分布受控于古地貌单元类型,遵循重力驱动机制(Bonjour and Dabard, 1990; 刘立和胡春燕,1991). 对于扇体而言,一般近源方向岩性粗,向凹陷内变细. 这种岩性由粗变细的带状分布,可指示古水流方向(Ravnas and Steel, 1998).

从砂体厚度分布图上可以看出(图 7),歧口凹陷及周边地区存在数个砂体厚度集中的地区,分别是北塘凹陷、板桥凹陷、歧口凹陷和白东地区. 研究区北部的北塘凹陷砂体厚度北厚南薄,向南一直延伸到海河断层附近,主要体现了北部燕山隆起区的物源供给. 板桥凹陷发育 3 条砂岩厚度带. 南部 2 条砂岩带体现了沧县隆起的物源供给,而北部的砂岩条带则是北塘凹陷的砂体越过海河断层在白东地区的延伸. 埕宁隆起的北部也发育一系列的砂体,证明当时埕宁隆起也为研究区提供物源. 此外,沙垒田凸起的西南部发育一条 SW 走向的砂体,可以断定沙垒田凸起也是物源区,但是影响范围有限. 因此,根据砂体展布特征可以辨别出 3 个主要的物源区:燕山物源区、沧县物源区和埕宁物源区.

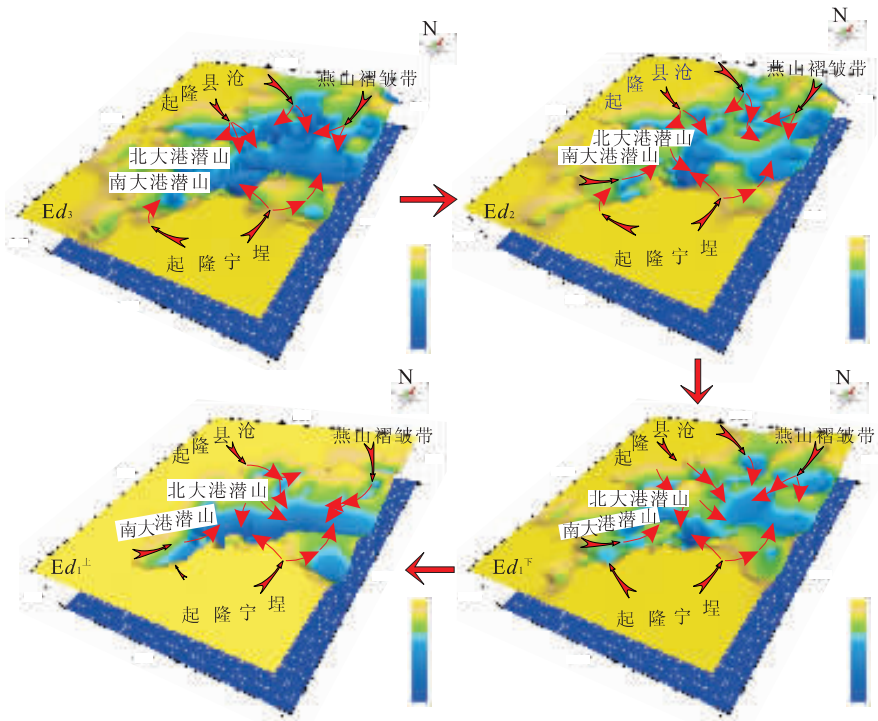


图 6 歧口凹陷东营组同沉积期古地貌与物源体系分析

Fig. 6 Analysis of paleogeomorphology and provenance of Dongying Formation in Qikou depression

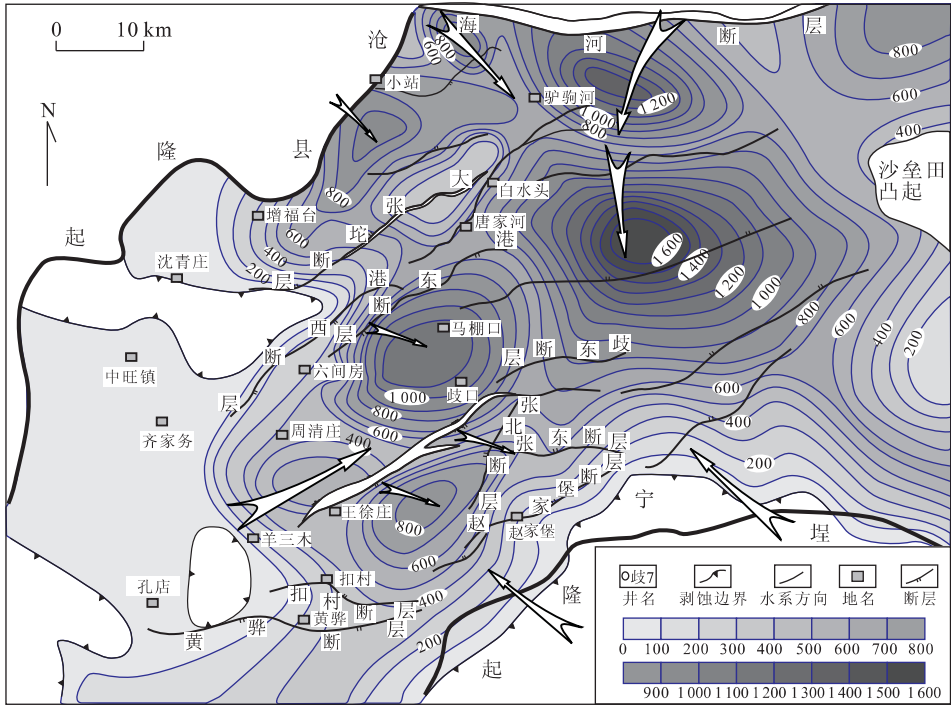


图 7 歧口凹陷东营组砂体厚度图

Fig. 7 Isopach map of Dongying Formation in Qikou depression

2.5 盆地边缘及内部层序界面上大型下切谷的空间展布特征分析

河流是搬运沉积物的重要通道,河流下切作用形成的下切谷在地震剖面上有着明显的识别标志.通过分析下切河道在地震剖面上的反射特征,不但能确定物源方向,而且对分析物源通道的位置也有重要的参考作用(焦养泉等,1998).通过对歧口凹陷大量的二维、三维地震剖面,尤其 30 条过井主干大剖面的分析,在歧口凹陷周围的构造高部位,识别出大量下切充填地震相的反射特征(图 8).下切充填地震相指低凹处充填沉积物所形成的地震相.这种地震相在地震剖面上表现为反射层局部下凹,形成沟谷状,其内部充填反射为平行上超或前积,振幅较强,连续性中等,体现为下切河道的地震反射特点.根据歧口凹陷周围下切谷的分布特征,可以确定本区在东营组沉积时期的主要物源有 4 个:燕山隆起、

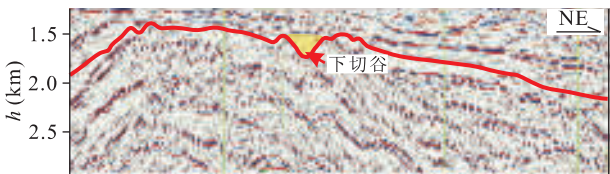


图 8 歧口凹陷东营组下切谷地震反射特征

Fig. 8 Seismic reflection characteristic of incise valley of Dongying Formation in Qikou depression

沧县隆起、埕宁隆起以及沙埕田凸起.

2.6 东营组堆积期古物源体系特征的综合研究

通过对东营组沉积时期古物源的综合分析,歧口凹陷具有 6 个大的古物源区,分别为燕山物源、沧县物源、小站物源、沈青庄物源、孔店物源和埕宁隆起物源(图 9).其中,燕山物源区又可细分为 3 个方向:于 1 井—塘 40 井—一线、塘参 1 井—BT36-1-1 井—一线和顺润南断层由北向南走向一线.沈青庄物源和孔店物源分别经北大港潜山和南大港潜山向潜山两侧提供侧向物源.

(1)东三段时期.主要的物源方向有:①北部燕山物源,是全区最大的物源区.由燕山褶皱带搬运而来的砂体分布范围大,最前端达到港海 2—1 井附近;②沧县物源,由海河断层西端进入驴驹河地区,分布范围大,前沿到达白东地区;③小站物源,沿小站—上古林一线发育,前缘到达唐家河地区,在马棚口等地区形成重力流扇体;④沧县隆起物源,在钱圈、增福台地区发育规模小,形成小的三角洲体系;⑤沈青庄物源,由北大港潜山经白水头断层西端进入唐家河地区;⑥埕宁隆起物源,经赵家堡断层下盘分成两支由 NE 和 NW 两个方向进入凹陷.

(2)东二段时期.主要的物源方向有:①北部燕山物源,细分为两支进入北塘凹陷,分布范围大,最

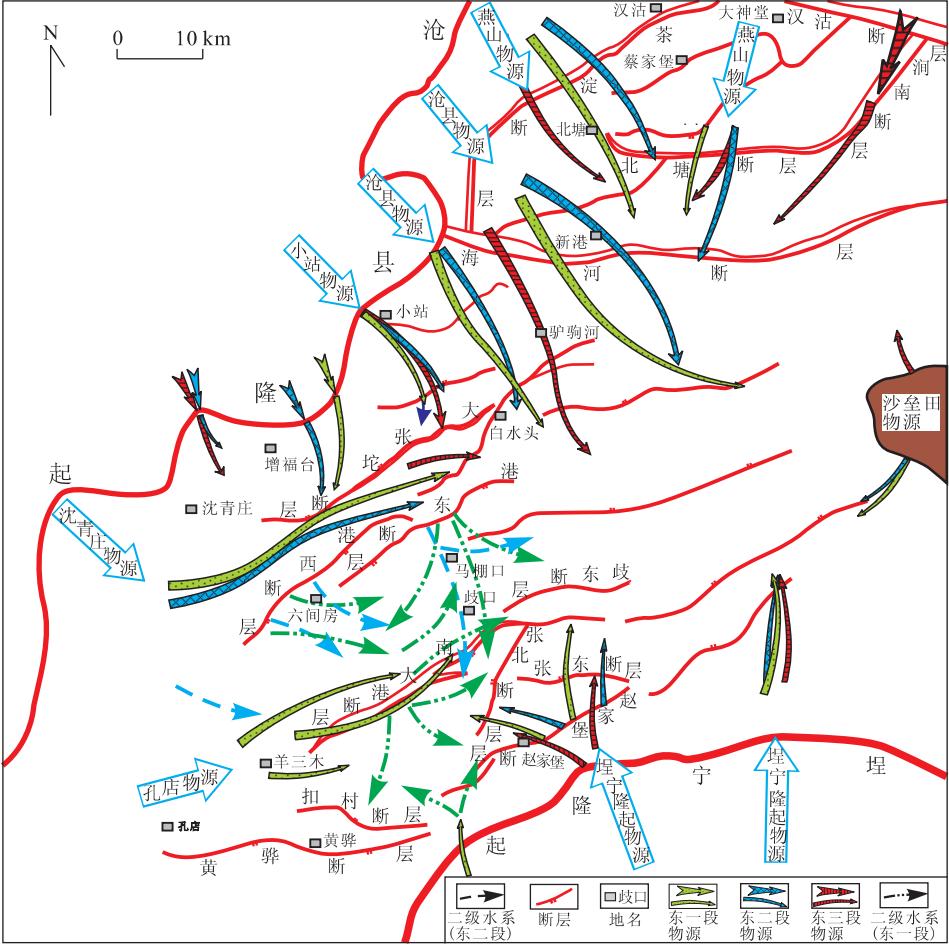


图 9 歧口凹陷东营组物源方向综合分析

Fig. 9 Provenance analysis of the Dongying Formation in Qikou depression

远端到达白东地区；②沧县物源由海河断层西端进入驴驹河地区，分布范围大，前沿到达白水头地区；③小站物源，沿小站—上古林一线发育，前缘到达唐家河、高沙岭地区，此外在 NE 方向也有小的分支；④沧县隆起物源在钱圈、增福台地区发育规模小，形成小的三角洲体系；⑤沈青庄物源由北大港潜山经齐家务、港西断层下盘和港东断层下盘进入歧北凹陷，发育分布面积广的高位三角洲沉积；⑥埕宁隆起物源可分为 2 个分支，一支进入歧南凹陷，另一支进入歧东地区。

(3)东一段时期，主要的物源方向有：①北部燕山物源，主要 2 个分支进入北塘凹陷，分布范围略有减小；②沧县物源主要由新港进入白东地区，此外还有一支发育于驴驹河地区；③小站物源影响范围减小，在 NE 方向也有小的分支；④钱圈发育很小的物源；⑤沈青庄物源由北大港潜山经港西断层下盘、港东断层下盘进入歧北凹陷，发育分布面积广的高位三角洲沉积；⑥孔店物源沿南大港潜山向两侧提供

物源，特别是歧南凹陷发育规模较大的三角洲体系；⑦埕宁隆起发育多支小的物源，主要影响着歧南凹陷沉积。

3 讨论与结论

本文以歧口凹陷东营组古物源体系分析为切入点，论述了古物源体系研究的途径与方法。很明显，单独应用少量指标来研究古物源体系是不能全面反映其真实面貌的。本文研究初步总结出应用轻—重矿物时空配置关系、地震前积反射结构特征、古地貌恢复与沟谷展布特征、盆地内部骨架砂体形态与时空配置以及盆地边缘及内部层序界面上大型下切谷的空间展布特征，即“五位合一”法来判断沉积盆地的古物源体系。该方法无疑能为其他盆地在同领域的研究提供借鉴作用。但古物源分析具有复杂的工作流程，且在不同的盆地，受限于资料类型及其精

度,其研究手段和使用的技术系列则各具特色,同时随着科学与技术的进步和所获盆地资料与信息的增长会有更多的有效方法与技术应用于该领域,并能进一步逼近古物源体系的真实状况,更好地服务于油气勘探。该文基于笔者目前工作的初步认识写成的,一定尚有很多不足之处,敬希得到同行们的批评与指正。

**致谢:**本文在写作过程中,得到了中国石油大港油田勘探开放研究院同仁们的大力帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

## References

- Bai, Y. F., Wang, Z. S., Wei, A. J., et al., 2008. Time and space distribution characteristics and material resource system of heavy minerals in Dongying Formation of Huanghua depression. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 27(2): 39—42 (in Chinese with English abstract).
- Bai, Y. F., Zhang, B., Wang, H., et al., 2006. Research on the source direction of Palaeogene Dongying Formation in Huanghua depression. *Journal of Oil and Gas Technology*, 28(3): 17—19 (in Chinese with English abstract).
- Bonjour, J. L., Dabard, M. P., 1990. Ti/Nb ratios of clastic terrigenous sediments used as an indicator of provenance. *Chemical Geology*, 91(3): 257—267.
- Chen, C. F., Zheng, J. M., Wang, D. F., 2001. Depositional systems and source provenance of the third member of Shahejie Formation in Banqiao sag. *Journal of Palaeogeography*, 3(1): 55—62 (in Chinese with English abstract).
- Deng, H. W., Wang, H. L., Wang, D. Z., 2001. Control of paleo-morphology to stratigraphic sequence in continental rift basins: Take Lower Tertiary of western slope in Bozhong depression as an example. *Oil and Gas Geology*, 22(4): 293—296, 303 (in Chinese with English abstract).
- Dickinson, W. R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G. G., ed., Provenance of arenites. NATO-ASI Series. D. Reidel, Dordrecht, 148: 333—361.
- Haughton, P. D. W., Morton, A. C., Todd, S. P., 1991. Developments in sedimentary provenance studies. The Geological Society of London, London.
- He, Z. H., Liu, Z. J., Zhang, F., 2001. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis. *Geological Science and Technology Information*, 20(4): 29—32 (in Chinese with English abstract).
- Jiao, Y. Q., Li, Z., Zhou, H. M., 1998. The integrated study of sediment sources in sedimentary basins: An example from the Eocene Nanpu rift subbasin. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 18(5): 16—20 (in Chinese with English abstract).
- Johnson, C. M., Winter, B. L., 1999. Provenance analysis of Lower Paleozoic cratonic quartz arenites of the North American midcontinent region: U-Pb and Sm-Nd isotope geochemistry. *Geological Society of American Bulletin*, 111(11): 1723—1738.
- Li, Z., Jiao, Y. Q., Liu, C. H., et al., 1998. Source analysis of heavy mineral in Gaoliu area, Huanghua depression. *Petroleum Exploration and Development*, 25(6): 5—7 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., 2006. Tectono-stratigraphic analysis of sedimentary basins: A case study on the inland tectonically active basins in China. *Geoscience*, 20(2): 185—194 (in Chinese with English abstract).
- Liu, L., Hu, C. Y., 1991. Provenance significance of the main detrital composition in sandstone. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 11(6): 48—53 (in Chinese with English abstract).
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., et al., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Special Paper-Geological Society of America*, 284: 21—40.
- Morton, A., Hurst, A., 1995. Correlation of sandstones using heavy minerals: An example from the Statfjord Formation of the Snorre Field, northern North Sea. In: Dunay, R. E., Hailwood, E. A., eds., Non-biostratigraphical methods of dating and correlation. *Geological Society Special Publication*, 89: 3—22.
- Ravnas, R., Steel, R. J., 1998. Architecture of marine rift-basin successions. *AAPG Bulletin*, 82: 110—146.
- Sambridge, M. S., Compston, W., 1994. Mixture modeling of multi-component data sets with application to ion-probe zircon ages. *Earth and Planetary Science Letters*, 128(3—4): 373—390.
- Sherlock, S. C., Jones, K. A., Jones, J. A., 2000. A Central European variscide source for Upper Carboniferous sediments in SW England;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  detrital white mica ages from the Forest of Dean basin. *Journal of the Geological Society*, 157(5): 905—908.
- Stevenson, R. K., Whittaker, S., Mountjoy, E. W., 2000. Geochemical and Nd isotopic evidence for sedimentary-source changes in the Devonian miogeocline of the southern Canadian Cordillera. *Geological Society of*



*American Bulletin*, 112: 531—539.

Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell Scientific Publication, Oxford.

Wang, J. H., Wang, H., Zhao, Z. X., et al., 2003. Sequence stratigraphy in paleogeomorphology analysis: An example from Tahe oilfield. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(4): 425—430 (in Chinese with English abstract).

Wang, Z. J., Chen, H. D., Zhang, J. Q., 2000. The research and prospect in provenance analysis. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(4): 104—110 (in Chinese with English abstract).

Wang, Z. Y., Qi, J. F., Lu, K. Z., 2000. Analysis of Cenozoic tectonic subsidence history of the east tectonic belts in Huanghua depression. *Oil and Gas Geology*, 21(2): 127—129, 167 (in Chinese with English abstract).

Yan, Y., Lin, G., Wang, Y. J., et al., 2002. The indication of continental detrital sediment to tectonic setting. *Advances in Earth Sciences*, 17(1): 85—90 (in Chinese with English abstract).

Zhang, J. L., Lin, C. S., Zheng, H. R., 2002. Controlling action of fractures, palaeogeomorphology and material sources of rift lake basin on sedimentary system—Taking E<sub>3</sub> Gubei subsag as example. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 9(4): 24—27 (in Chinese with English abstract).

Zhao, J. X., Chen, H. D., Shi, Z. Q., 2001. The way and implications of rebuilding palaeogeomorphology, taking the research of palaeogeomorphology of the Ordos basin before Jurassic deposition as example. *Journal of Chengdu University of Technology*, 28(3): 260—266 (in Chinese with English abstract).

空展布特征及物源体系分析. 大庆石油地质与开发, 27(2): 39—42.

白云风, 张兵, 王华, 等, 2006. 黄骅坳陷古近纪东营组物源方向研究. 石油天然气学报, 28(3): 17—19.

陈纯芳, 郑浚茂, 王德发, 2001. 板桥凹陷沙三段沉积体系与物源分析. 古地理论, 3(1): 55—62.

邓宏文, 王红亮, 王敦则, 2001. 古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制——以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例. 石油与天然气地质, 22(4): 293—296, 303.

和钟铨, 刘招君, 张峰, 2001. 重矿物分析在盆地中的应用研究进展. 地质科技情报, 20(4): 29—32.

焦养泉, 李珍, 周海民, 1998. 沉积盆地物质来源综合研究——以南堡老第三纪亚断陷盆地为例. 岩相古地理, 18(5): 16—20.

李珍, 焦养泉, 刘春华, 等, 1998. 黄骅坳陷高柳地区重矿物物源分析. 石油勘探与开发, 25(6): 5—7.

林畅松, 2006. 沉积盆地的构造地层分析——以中国构造活动盆地研究为例. 现代地质, 20(2): 185—194.

刘立, 胡春燕, 1991. 砂岩中主要碎屑成分的物源区意义. 岩相古地理, 11(6): 48—53.

王家豪, 王华, 赵忠新, 等, 2003. 层序地层学应用于古地貌分析——以塔河油田为例. 地球科学——中国地质大学学报, 28(4): 425—430.

汪正江, 陈洪德, 张锦泉, 2000. 物源分析的研究与展望. 沉积与特提斯地质, 20(4): 104—110.

王子煜, 漆家福, 陆克政, 2000. 黄骅坳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, 167.

闫义, 林炯, 王岳军, 等, 2002. 盆地陆源碎屑沉积物对源区构造背景的指示意义. 地球科学进展, 17(1): 85—90.

张建林, 林畅松, 郑和荣, 2002. 断裂湖盆断裂、古地貌及物源对沉积体系的控制作用——以孤北洼陷沙三段为例. 油气地质与采收率, 9(4): 24—27.

赵俊兴, 陈洪德, 时志强, 2001. 古地貌恢复技术方法及其研究意义——以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例. 成都理工学院学报, 28(3): 260—266.

## 附中文参考文献

白云风, 王振升, 韦阿娟, 等, 2008. 黄骅坳陷东营组重矿物时