

# 北塘凹陷古近系沙河街组三段物源体系分析

黄传炎<sup>1,2</sup>, 王 华<sup>1,2</sup>, 周立宏<sup>3</sup>, 任培罡<sup>1,2</sup>, 刘 军<sup>1,2</sup>, 白云风<sup>1,2</sup>

1. 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

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院, 天津 300280

**摘要:** 物源分析是盆地分析的重要内容之一。北塘凹陷古近系沙河街组三段( $E_{S_3}$ )湖泊范围广、沉积厚度大, 而勘探程度低, 是大港油田未来勘探的重要突破区, 精细刻画北塘凹陷沙三段物源体系对沉积体系重建、有利区带预测具有重要意义。采用构造格架及古地貌宏观区分物源区与沉积区, 根据碎屑矿物组合特征划分物源区块, 依据地震反射特征勾绘物源在盆内进积方向, 利用砂体等厚图和砂地比等值线图精细描绘物源分支, 从不同角度、不同层次对北塘凹陷沙三段古物源体系进行精细研究。结果表明, 北塘凹陷物源来自北部燕山褶皱带和西部沧县隆起, 具体分为西部的沧县物源、西北角的汉沽物源、北部的大神堂物源和东北角的润南物源。在物源体系和构造组合特征的控制下, 沙三段主要发育扇三角洲沉积体系。

**关键词:** 物源分析; 沉积体系; 沉积作用; 北塘凹陷; 沙三段。

中图分类号: P588.21; P539.4

文章编号: 1000-2383(2009)06-0975-10

收稿日期: 2008-12-15

## Provenance System Characters of the Third Member of Shahejie Formation in the Paleogene in Beitang Sag

HUANG Chuan-yan<sup>1,2</sup>, WANG Hua<sup>1,2</sup>, ZHOU Li-hong<sup>3</sup>, REN Pei-gang<sup>1,2</sup>, LIU Jun<sup>1,2</sup>, BAI Yun-feng<sup>1,2</sup>

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

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China

**Abstract:** Provenance analysis is an important aspect of basin analysis. Beitang sag is an important breakthrough zone for future exploration in Dagang oilfield with its wide range of lake, deep sediment thickness, and low level of exploration of the third member of Shahejie Formation ( $E_{S_3}$ ). Detailed depiction of the provenance system using of  $E_{S_3}$  is of practical significance for reconstructing depositional system and forecasting favorable areas. This paper analyzes in detail the provenance system of  $E_{S_3}$  in Beitang sag from various angles and levels; the source area and the deposition area is macroscopically distinguished according to tectonic framework and palaeogeomorphology; the source block is determined according to the characteristics of detrital mineral assemblage; the direction of transporting clastic fragmen in the basin is described according to seismic reflection characteristics; and the source branches are finely pictured according to sandstone thickness distribution map and percent distribution map. The research results show that provenances originated from Yanshan fold belt and Cangxian uplift. They are divided into western Cangxian source, north-west Hangu source, north Dashentang source and north-east Jiannan source. In the tectonic framework and the provenance system, there mainly developed fan-delta depositional system of  $E_{S_3}$  in Beitang sag.

**Key words:** provenance analysis; sedimentation system; sedimentology; Beitang sag; the third member of Shahejie Formation.

物源分析在确定沉积物物源位置、性质和沉积物搬运路径, 以及整个盆地的沉积格局和预测盆内砂体等方面有重要意义(赵红格和刘池洋, 2003; 林畅松, 2006; 王世虎等, 2007)。位于黄骅拗陷北部的北塘凹

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40872077); 中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题基金(No. GPMR200913); 构造与油气资源教育部重点实验室开放基金(No. TPR-2009-19)。

作者简介: 黄传炎(1976—), 男, 博士, 主要从事层序地层学和沉积学研究。E-mail: cyhuang76@163.com

陷,处于两个富生烃凹陷(歧口凹陷、南堡凹陷)之间,是在新生代发育起来的断陷盆地,包括断陷和坳陷两个演化阶段,其勘探面积约 2 030 km<sup>2</sup>(图 1)(于志海等, 1997;肖坤叶等, 2004; 邓荣敬等, 2005, 2006). 其古近系沙河街组三段(简称沙三段)埋深大,湖泊发育范围广,泥岩沉积厚度大,并且西南侧已发现塘沽—新河村油田,海域探井港海 A 井在沙三段和东营组三段(简称东三段)已见油气显示(图 1),这表明北塘凹陷具有巨大的勘探潜力,并且北塘凹陷现阶段勘探程度低,是大港油田新区勘探的重要突破区,因此,深入研究北塘凹陷沙三段古物源体系,对重建沉积体系、预测有利区带和指导下一步勘探具有重要的实际意义. 由于北塘凹陷勘探程度低,积累资料少,又加上复杂而特殊的地质条件给物源体系的判定带来了一定的困难,从而也制约了北塘凹陷沉积体系分析、储层预测和进一步勘探.

物源分析经过地质工作者多年的不断努力与探索,其方法日趋丰富:如重矿物法(武法东等, 1996; 李珍等, 1998)、碎屑岩类分析法、裂变径迹法(周祖翼等, 2001; Emmel *et al.*, 2006)、地球化学法和同位素法(刘少峰等, 2001)、古水流与古地貌法(王世

虎等, 2007; 邓宏文等, 2008)和测井曲线法(李丕龙等, 2003; 李昌等, 2009)等. 并且物源分析逐渐由早期的单一方法向多种方法综合运用发展,如王世虎等(2007)采用矿物成分、重矿物特征、古水流测量、砂分散体系制图和古地貌恢复等方法,对鄂尔多斯盆地西北部的物源进行了系统研究;徐田武等(2009)利用重矿物法、碎屑岩类分析法、沉积法对高邮凹陷的物源进行细致分析. 不同的方法从不同的视角分析,各有侧重各有优势. 实践表明,任何一种研究方法,只要其理论基础正确,测试或鉴定方法无误,均有其特定的优越性,而多种方法的综合运用将更加准确确立研究区的物源体系. 本文采用构造格架及古地貌分析宏观把控制物源区与沉积区,碎屑轻、重矿物组合划分物源区块,利用地震反射特征勾绘物源在盆内进积方向,砂体等厚图和砂地比等值线图精细描绘物源分支,从不同角度、不同层次对北塘凹陷古近系沙三段古物源体系进行精细研究.

### 1 构造格架及古地貌分析

盆地的构造格架控制着盆地的沉积中心和沉降

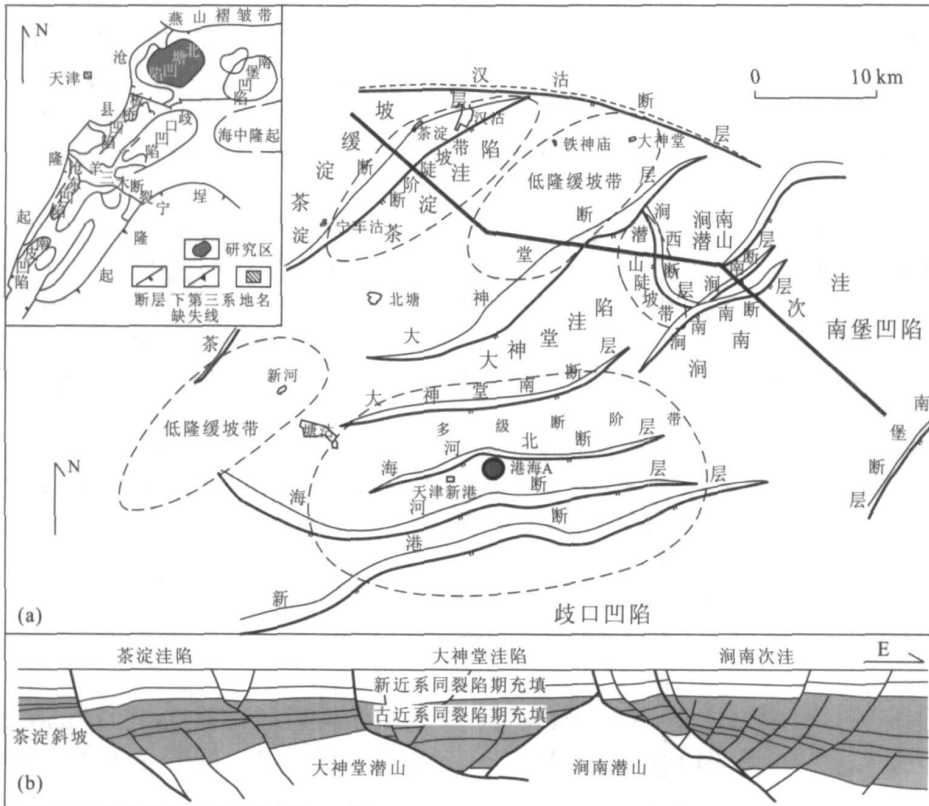


图 1 北塘凹陷区域地质和构造格架(据大港资料修改, 2004)

Fig. 1 Regional geological map and structure framework of Beitang sag

中心; 构造的各种组合样式, 如梳状断裂系、帚状断裂系、雁行状断裂以及构造转换带等, 形成特定的构造古地貌, 控制着物源的运移和分布. 沉积体系的空间展布. 因此, 分析盆地的构造格架及古地貌, 可以帮助我们分析主要沉积中心, 勾绘出盆地物源通道, 为物源分析提供宏观方向(李思田等, 1997; 周海民等, 2000; 邓宏文等, 2001; Lin *et al.*, 2004; 林畅松, 2006; 吴磊等, 2006; 黄传炎等, 2007; 邓宏文等, 2008; 路智勇, 2008).

北塘凹陷在第三纪演化过程中受右旋应力作用, 内部产生了北东—西南向挤压和北西—南东向拉张两组应力, 主要发育近东西、北东向两组同沉积断层, 由于受两组断裂系统的控制, 形成了北塘凹陷“南北分区、东西分带、隆凹相间”的总体构造格局. 凹陷北区发育一系列北东向的断层, 包括茶淀断层、大神堂断层和涧南断层, 构成断垒和断陷相间排列, 形成凹陷北区“三洼两隆一斜坡”的构造格架. 自西向东依次为茶淀洼陷、大神堂洼陷和涧南次洼(图 1), 而这几个洼陷为碎屑物的沉积提供了空间. 通过地层等厚图的分析, 这些洼陷也正是北塘凹陷内部的沉积中心. 对北塘凹陷内部断层组合样式的研究表明, 汉沽断层与次级断层茶淀断层、大神堂断层和涧南断层共同组成“梳状断裂系”, 控制了砂体空间的展布. 茶淀断层西端和海河断层组成的构造调节带为物源搬运提供了主要通道; 南部发育近东西向的海河—新港构造带, 构成多级断坪, 形成了沉积物向凹陷中心多级输送的路径, 指示物源继续推进的方向(图 2).

古地貌分析采用地层的定量“回剥技术”, 通过计算盆地的沉降量, 定量恢复盆地发育某一时期的原始地貌形态, 然后结合盆地的构造、层序地层和沉积体系的分析确定原始古地貌特征.

本次研究在北塘凹陷构造格架解释和层序地层格架构建的基础上, 应用沉降回剥分析技术, 经过去压实、沉积物重力均衡沉降及古水深等校正后, 经计算机模拟, 恢复了北塘凹陷沙三段发育初期古地貌. 其中, 高部位为剥蚀区, 提供物源; 低洼之间的鞍部或断层之间的转换带为物源的搬运通道; 低洼区为物源的主要沉积区, 这与构造格架分析结果相吻合. 通过对恢复的北塘凹陷沙三段古地貌特征分析, 西部沧县隆起和北面的燕山褶皱带为其主要物源区, 而潜山之间的鞍部为物源推进的主要通道(图 2), 物源顺着鞍部进入盆地. 从图上可以分析出 4 个物源, 分别为西部的沧县物源、西北角的汉沽物源、北面的大神堂物源和东北角的涧南物源.

## 2 轻、重矿物特征分析

在构造—古地貌宏观分析的基础上, 利用陆源碎屑轻、重矿物组合特征分析划分物源区块, 利用不同矿物含量的变化趋势指示物源搬运方向(姜在兴, 2003; 吴磊等, 2006; 王世虎等, 2007). 本文对北塘凹陷古近系沙三段 50 余口井的轻、重矿物特征进行了分析. 研究发现, 在研究区内矿物的组合特征具有明显的分区性, 可分为 5 个区域和 3 个物源方向(图

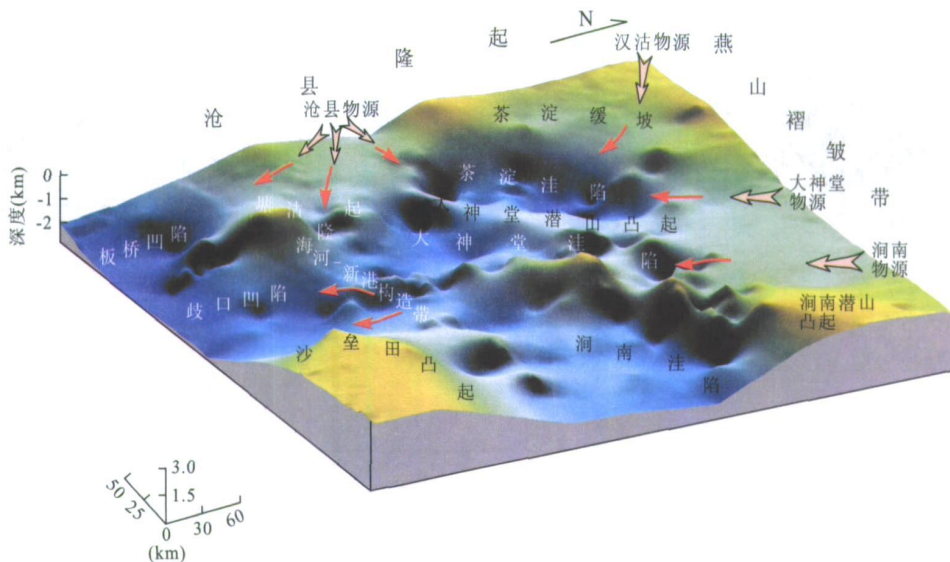


图 2 北塘凹陷沙三段发育初期古地貌图与物源体系匹配

Fig. 2 The palaeogeomorphology and provenance system of Es<sub>3</sub> in Beitang sag

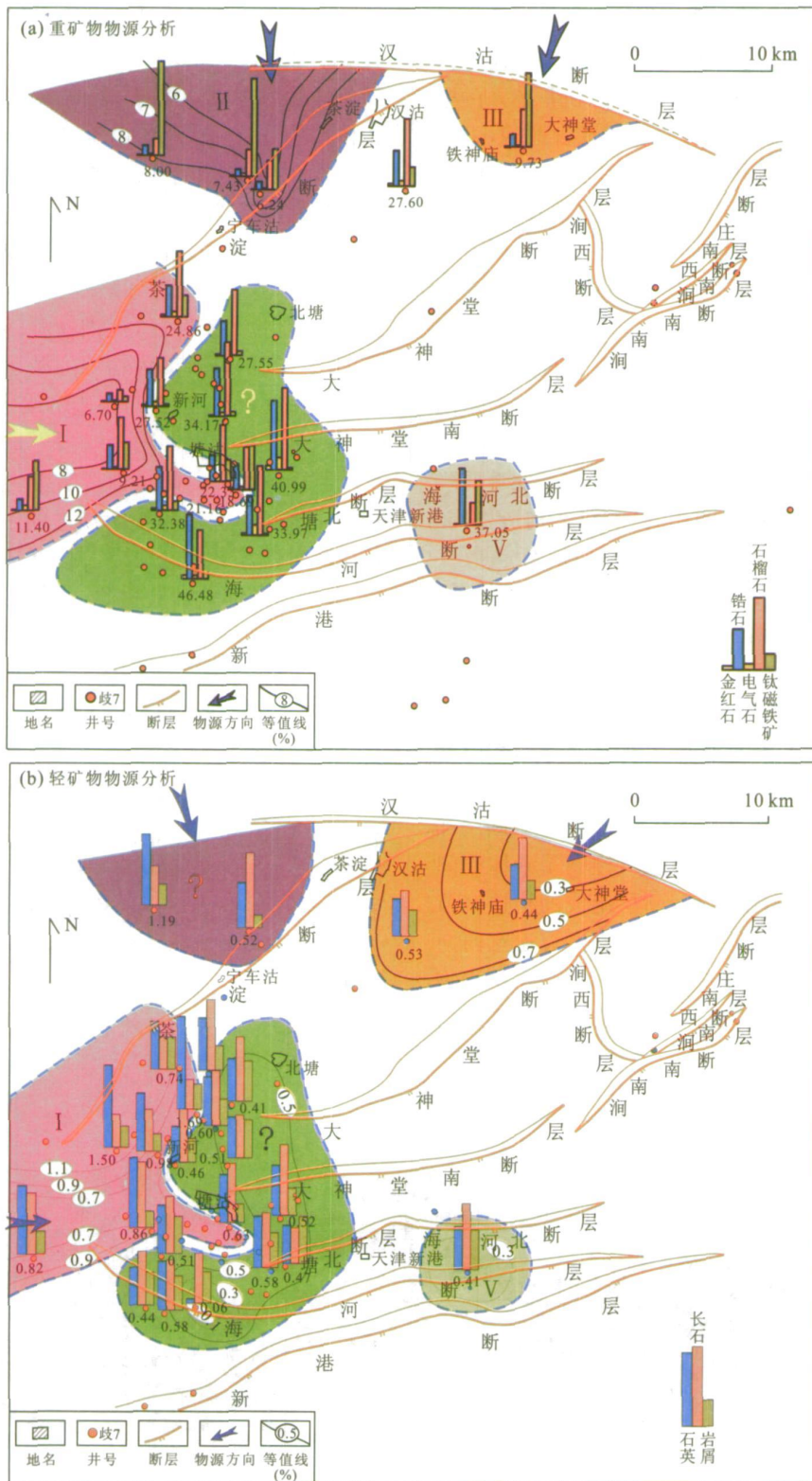


Fig. 3 Light and heavy mineral combination characteristic analysis of Es<sub>3</sub> in Beitang sag

3). 3 个物源方向分别为: 西部的沧县物源 (I 区)、西北角的汉沽物源 (II 区) 和北部大神堂与河南物源

(III 区). 西部沧县物源富含石榴石, 石榴石含量一般为 40%~50%, 锆石含量一般为 10%~15%, 石英



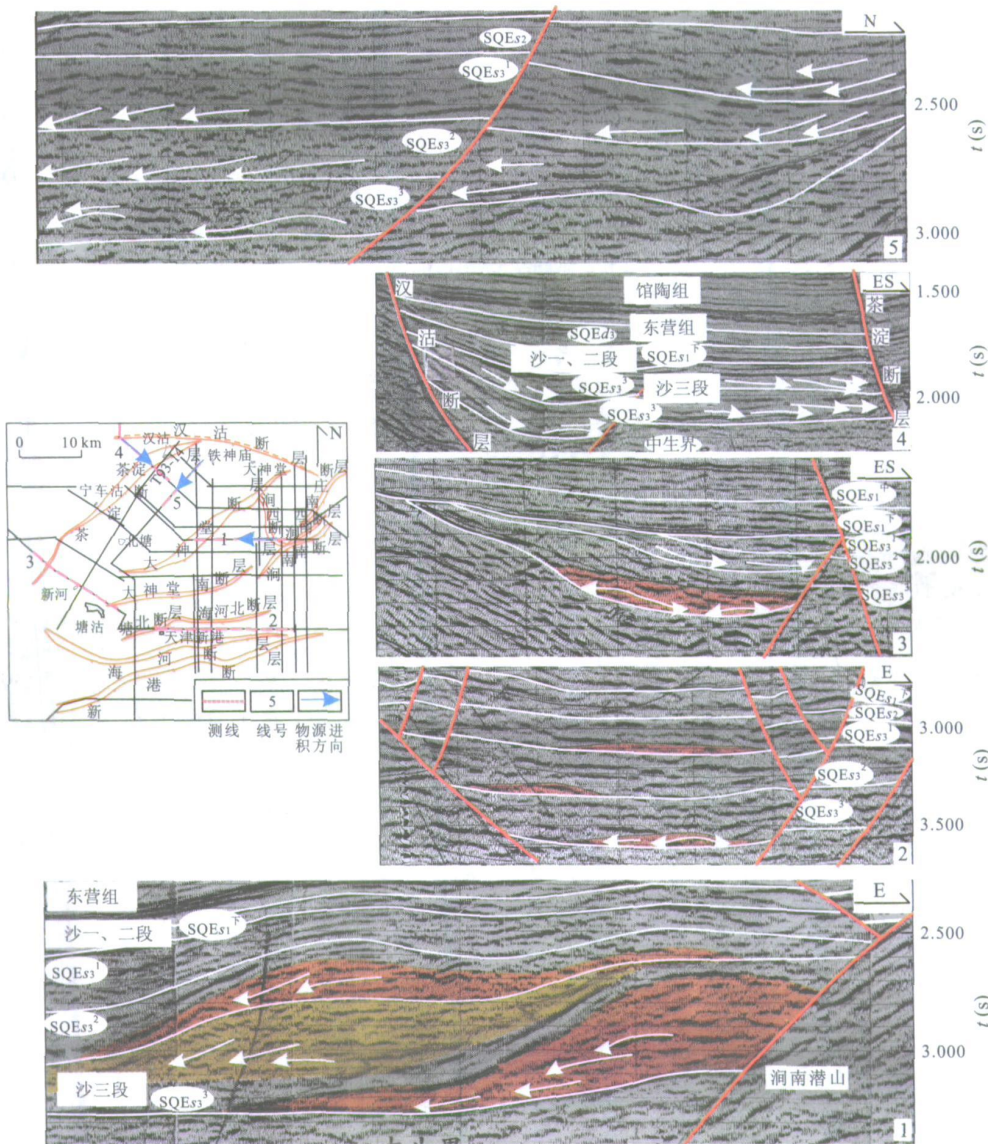


图 4 地震反射特征分析

Fig. 4 Provenance analysis of seismic character

含量一般为 50% ~ 60%，为岩屑长石石英砂岩；自西向东稳定重矿物含量增加，不稳定重矿物含量减少，石英含量相对增加。西北角汉沽物源富含钛磁铁矿，钛磁铁矿含量高达 60% ~ 76%，石榴石含量 13.4% ~ 20%，为石英长石砂岩；稳定重矿物含量自北向南逐渐增加。北部大神堂与润南物源富含钛磁铁矿，含量高达 58%，为岩屑石英长石砂岩，石英含量向湖盆中心逐渐增加。图 3 中 IV 区富含石榴石，含量一般为 40% ~ 49%，而锆石含量一般为 30% ~ 40%，长石含量相对高；V 区中锆石含量为 45.6%，钛磁铁矿含量为 36%，长石含量也相对较高，与 IV 区矿物组合特征具有相似处，两个区域都位于深湖

区，可能为碎屑物再次搬运的沉积结果。

### 3 地震反射特征分析

依据地震反射前积结构、地震相平面组合、特殊地质体的解释和分析和下切谷的判断与追踪(图 4): 1 线剖面楔形的外部反射特征和内部的杂乱反射相指示近物源的快速堆积，代表了近物源高能快速的扇三角洲沉积；2 线剖面中频弱振幅较连续相，并夹席状和透镜状外部反射形态，指示深湖一半深湖沉积环境，表示远离物源的一种深湖浊流沉积；3 线剖面地震反射特征为上覆地层下切下覆地层，以

削截特征与下覆地层相接触, 表现为下切谷特征, 代表物源通道, 剖面走向可能为横切或是斜切物源进积通道; 4 线和 5 线的前积地震反射特征指示物源进积方向(图 4)。根据地震前积反射特征和外部反射结构可以判断物源的进积方向和距离物源的远近, 而下切谷的发现可以指示物源搬运通道(李思田等, 2002; 林畅松, 2006)。据地震反射特征分析, 茶淀断层北缘根部、茶淀断层西北缘斜坡区、大神堂断层与涧南断层之间的凹槽都为物源入盆口。进一步研究还表明: 北塘凹陷沙三段沉积, 多以楔形杂乱相为主, 有时出现楔形空白相或楔形帚状前积相, 向盆地延伸不远, 代表了近物源高能快速的扇三角洲沉积。而在洼陷中心地区通常以席状、发散状和充填反射地震相为主, 反射连续性一般, 发育呈透镜体特征的地震反射, 反映了远离物源的深湖一半深湖沉积。

#### 4 砂岩分散体系分析

在物源体系宏观框架指导下编制出来的精细砂体等厚图和砂地比等值线图, 不仅是对物源体系的反证, 而且能够更精细刻画物源推进方向和展布特征, 完善物源体系。研究表明, 砂岩分别从 4 个方向

进积到盆地中(图 5): (1)西部砂岩进入盆地后分三支向盆地内部推进, 北面一支砂体其百分含量顺着茶淀断层下降盘向茶淀洼陷中心逐渐降低, 但在茶淀洼陷中心再次形成一个高值区, 这个特征在整个沙三段沉积期具有继承性, 中间一支砂体顺着大神堂南断层下降盘向凹陷中心推进, 南面一支指向海河断层下降盘; (2)西北角砂岩百分含量顺着茶淀斜坡向茶淀洼陷逐渐降低; (3)北面砂岩百分含量顺着大神堂潜山构造带向茶淀洼陷逐渐降低; (4)而东北角砂岩百分含量顺着大神堂断层的下降盘向湖盆中心逐渐降低。因此, 分析表明, 发育于两大物源区的物源体系呈四支物源子体系向盆内腹地推进。

#### 5 方法对比与分析

不同的方法从不同的视角分析物源, 各自有自己分析的重点和优势。构造格架和古地貌分析主要是从构造的角度宏观把控大的物源区与沉积区, 矿物分析重点指示物源区, 地震反射特征可以追踪物源在盆内搬运、运移沟槽和展布特征, 而砂体厚度图与砂地比等值线图是对物源体系的反证, 更是对物源体系的精细描述。多种方法的综合运用, 从不同视

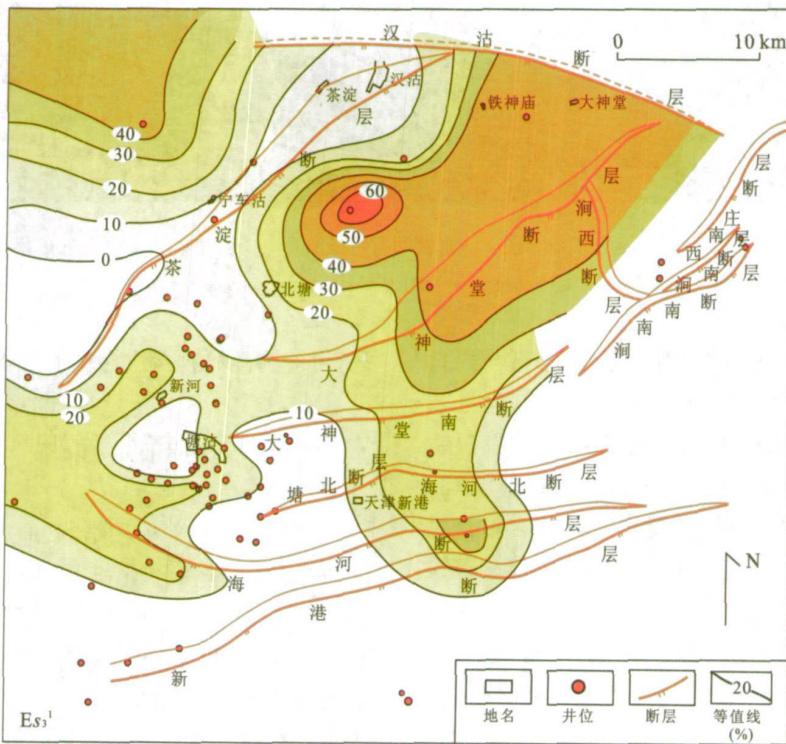


图 5 北塘凹陷沙三一亚段砂岩百分率平面分布  
Fig. 5 Sandstone percent map of Es<sub>3</sub> in Beitang sag



角不同层次综合分析物源, 一是可以弥补单一方法分析的不足, 二是可以精细刻画物源体系子系统特征, 特别是盆内物源搬运路径和展布特征.

### 6 沉积相发育特征

前人认为: 北塘凹陷沙三段主要发育近岸水下扇(成洪文等, 2003. 大港北部滩海预探目标研究). 而本次综合运用多种方法对物源体系精细刻画, 并通过大量的岩心观察以及单井微相分析, 研究表明: 北塘凹陷沙三段主要发育扇三角洲.

北塘凹陷沙三段为湖盆断陷期, 构造活动性强, 构造—古地貌对沉积体系的类型和空间展布具有明显的控制作用. 在北塘凹陷汉沽断层以南主要发育扇三角洲与深湖滑塌重力流, 其沉积碎屑物由大神堂物源和润南物源提供; 凹陷西侧茶淀断层附近也主要发育扇三角洲与深湖滑塌重力流, 其物源主要来自西部沧县隆起; 在湖盆中心海河—新港构造带附近主要发育深湖浊流体系, 可能为润南物源控制下发育的扇三角洲前缘砂体的再次搬运沉积. 由于整个沙三段时期其沉积环境没有很大的变化, 各个沉积期发育的沉积体系具有继承性, 因此从  $E_{s3}^3$  到  $E_{s3}^1$ , 其发育的沉积体系类型具有相似性(图 6).

### 7 讨论与结论

在地质工作者不懈的努力和探索中, 随着现代测试技术的不断提高, 物源分析方法将会更加完善和丰富. 由定性分析走向定量分析, 由单一方法走向多学科多方法的综合运用, 这将是物源体系分析的未来发展方向. 本文通过以上综合研究, 得出以下结论:

(1) 探索多种方法的综合运用, 理清了一套物源体系研究思路. 采用构造格架与古地貌分析宏观区分物源区与沉积区, 根据碎屑矿物组合特征分析划分物源区块, 依据地震反射特征研究勾绘物源在盆内进积方向. 利用砂体等厚图和砂地比等值线图精细描绘物源分支, 从不同角度不同层次对古物源体系进行精细研究.

(2) 北塘凹陷沙三段沉积碎屑物来自北部燕山褶皱带和西部沧县隆起, 碎屑物从 4 个方向进积到凹陷中, 分别为西部的沧县物源、西北角的汉沽物源、北面的大神堂物源和东北角的润南物源. 西部沧县物源进入盆地后分三支向盆地内部推进, 北面一支物源顺着茶淀断层下降盘向茶淀洼陷中心推进, 中间一支物源顺着大神堂南断层下降盘进积到凹陷中心, 南面一支物源向海河断层下降盘推进. 西北角

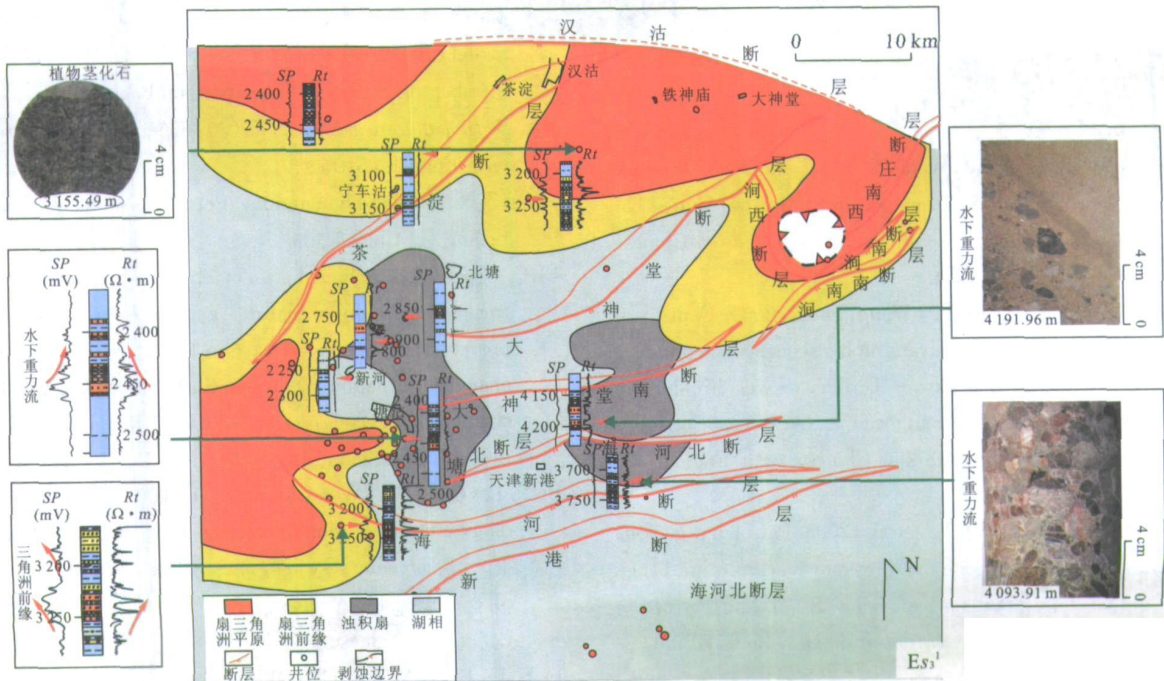


图 6 北塘凹陷沙三一亚段沉积体系空间展布

Fig. 6 Sedimentary system distribution map of  $E_{s3}$  in Beitang sag

SP. 自然电位, mV; Rt. 视电阻率,  $\Omega \cdot m$

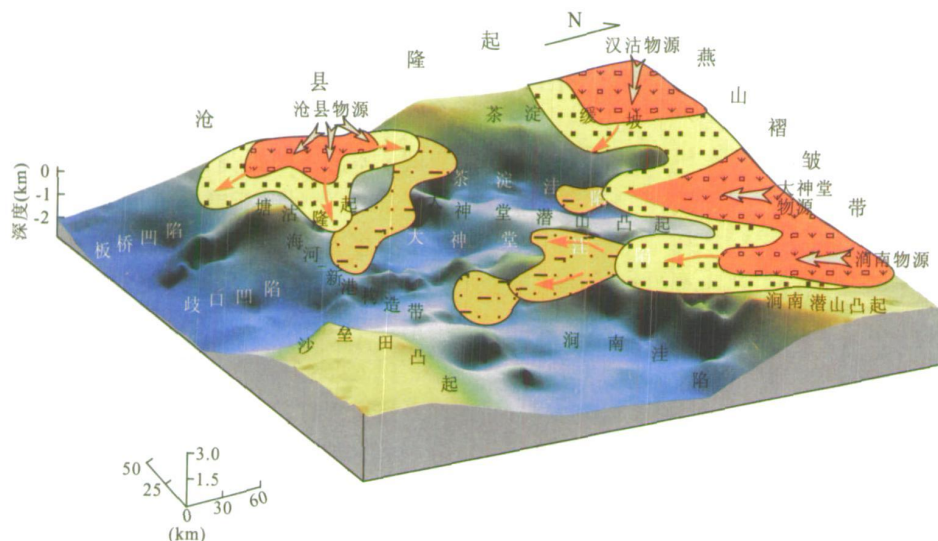


图 7 北塘凹陷沙三段古地貌、物源及沉积相综合分析

Fig. 7 The palaeogeomorphology, provenance analysis and sedimentary system distribution map of Es<sub>3</sub> in Beitang sag

汉沽物源顺着茶淀斜坡向茶淀洼陷推进。北面大神堂物源顺着大神堂潜山构造带进积到茶淀洼陷中，而东北角润南物源顺着大神堂断层的下降盘向湖盆中心进积(图 7)。

(3)北塘凹陷古近系沙三段主要发育扇三角洲体系，这是对前人研究成果的完善。

致谢：本文在写作过程中，得到了中石油大港油田勘探开发研究院同仁的帮助，作者在此向他们表示感谢。

## References

- Deng, H. W., Guo J. Y., Wang, R. J., et al., 2008. Tectonic sequence stratigraphic analysis in continental faulted basins. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- Deng, H. W., Wang, H. L., Wang D. Z., 2001. Control of palaeomorphology to stratigraphic sequence in continental rift basins: Take Lower Tertiary of western slope in Bozhong depression as an example. *Oil & Gas Geology*, 22(4): 293-296, 303 (in Chinese with English abstract).
- Deng, R. J., Xu B., Qi J. F., et al., 2005. Petroleum geological role of Paleogene overpressure reservoirs in Tanggu-Xincun of Beitang sag, Bohai Bay basin. *Petroleum Exploration and Development*, 32(6): 46-51 (in Chinese with English abstract).
- Deng, R. J., Xu B., Qi, J. F., et al., 2006. Sedimentation characteristics and factors affecting the reservoir in Palaeogene the Shasan Member of Beitang sag Huang-

hua depression. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25 (3): 230-236 (in Chinese with English abstract).

- Emmel B., Geiger, M., Jacobs, J., 2006. Detrital apatite fission-track ages in Middle Jurassic strata at the rifted margin of W Madagascar: Indicator for a protracted re-sedimentation history. *Sedimentary Geology*, 186(1-2): 27-38.
- Huang, C. Y., Wang H., Xiao D. Q., et al., 2007. Sequence patterns characteristics of depositional systems and model of reservoirs of fault steep slope selt of the first member of Shahejie Formation in Banqiao Sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(3): 386-391 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Z. X., 2003. Sedimentology. Petroleum Industry Press Beijing (in Chinese).
- Li C., Cao, Q. B., Shou J. F., et al., 2009. Application of fractal dimension of natural gamma logging curve in provenance analysis—A case in lower member of Ganchaigou Formation, Qigequan-Shibe area, Qaidam Basin. *Natural Gas Geoscience*, 20(1): 148-152 (in Chinese with English abstract).
- Li P. L., Cai J. G., Wang, J. F., et al., 2003. Petroleum geology and exploration of continental fault basin (Volume II)—Sedimentary system and hydrocarbon distribution of continental fault basin. Petroleum Industry Press Beijing (in Chinese).
- Li S. T., Lu F. X., Lin C. S., 1997. The evolution of basin and the backgrounds of geodynamics in circum pacific ocean in eastern China during Mesozoic and Cenozoic. China University of Geosciences Press Wuhan (in Chinese).



- Li, S. T., Pan, Y. L., Lu, Y. C., et al., 2002. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine fault basins; Sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 593—598 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z., Jiao, Y. Q., Liu, C. H., et al., 1998. Source analysis of heavy mineral in Gaoliu area of Huanghua depression. *Petroleum Exploration and Development*, 25(6): 5—7 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., 2006. Tectonic-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).
- Lin, C. S., Zheng, H. R., Ren, J. Y., et al., 2004. The control of syndepositional faulting on the Eogene sedimentary basin fills of the Dongying and Zhanhua sags Bohai Bay rift basin. *Science in China (Series D)*, 47(9): 769—782.
- Liu, S. F., Zhang, G. W., Zhang, Z. Q., et al., 2001. Isotopic geochronology tracer of the conglomerate from granite rock in Hefei basin. *Chinese Science Bulletin*, 46(9): 748—753 (in Chinese with English abstract).
- Lu, Z. Y., 2008. Influence of the Paleogene structural styles on deposition and reservoir in Chezhen sag, Bohai Bay basin. *Journal of Palaeography*, 10(3): 277—285 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. H., Jiao, Y. Q., Wu, L. Q., et al., 2007. Spatial combination of paleoprovenance and depositional lobe of mid-lower Yanchang Formation in the northwest of Ordos basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 201—208 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. D., Lu, Y. C., Ruan, X. Y., 1996. Application of heavy minerals cluster analysis to study of clastic sources and stratigraphic correlation. *Geoscience*, 10(3): 397—403 (in Chinese with English abstract).
- Wu, L., Xu, H. M., Ji, H. C., 2006. Evolution of sedimentary system and analysis of sedimentary source in Paleogene of Bozhong sag, Bohai Bay. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 26(1): 81—88 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, K. Y., Deng, R. J., Yang, H., et al., 2004. Petroleum geological role of magmatic activities in Xingang prospect area, Beitang sag. *Petroleum Exploration and Development*, 31(2): 25—28 (in Chinese with English abstract).
- Xu, T. W., Song, H. Q., Kuang, H., et al., 2009. Synthetic application of the provenance analysis technique; A case study of member I of Taizhou Formation in Gaoyou sag, Subei basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 2(15): 111—117 (in Chinese with English abstract).
- Yu, Z. H., Yang, C. Y., Liao, Q. J., et al., 1997. Natural gas geology of Huanghua depression. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, H. G., Liu, C. Y., 2003. Approaches and prospects of provenance analysis. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(3): 409—415 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, H. M., Wang, Z. C., Guo, Y. H., et al., 2000. Tectonic controls on sequence stratigraphy in Tertiary Period in Nanbao depression. *Journal of China University of Mining & Technology*, 29(3): 326—330 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Z. Y., Liao, Z. T., Yang, F. L., et al., 2001. Fission-track analysis and its application in the study of sedimentary basins. *Petroleum Geology & Experiment*, 23(3): 332—337 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 邓宏文, 郭建宇, 王瑞菊, 等, 2008. 陆相断陷盆地的构造层序地层分析. *地质前缘*, 15(2): 1—7.
- 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.
- 邓荣敬, 徐备, 漆家福, 等, 2005. 北塘凹陷塘沽—新村地区古近系异常高压特征及其石油地质意义. *石油勘探与开发*, 32(6): 46—51.
- 邓荣敬, 徐备, 漆家福, 等, 2006. 北塘凹陷古近系沙河街组三段沉积特征及储层的影响因素. *岩石矿物学杂志*, 25(3): 230—236.
- 黄传炎, 王华, 肖敦清, 等, 2007. 板桥凹陷断裂陡坡带沙一段层序样式和沉积体系特征及其成藏模式研究. *沉积学报*, 25(3): 386—391.
- 姜在兴, 2003. *沉积学*. 北京: 石油工业出版社.
- 李昌, 曹全斌, 寿建峰, 等, 2009. 自然伽马曲线分形维数在沉积物源分析中的应用——以柴达木盆地七个泉—狮北地区下干柴沟组下段为例. *天然气地球科学*, 20(1): 148—152.
- 李丕龙, 蔡进功, 王居峰, 等, 2003. 陆相断陷盆地油气地质与勘探——陆相断陷盆地沉积体系与油气分布(II). 北京: 石油工业出版社.
- 李思田, 路凤香, 林畅松, 1997. 中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球动力学背景. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等, 2002. 断陷湖盆隐蔽油气藏预测及勘探的关键技术——高精度地震探测基础上的层序

- 地层学研究. 地球科学——中国地质大学学报, 27(5): 592—598.
- 李珍, 焦养泉, 刘春华, 等, 1998. 黄骅拗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.
- 刘少峰, 张国伟, 张宗清, 等, 2001. 合肥盆地花岗岩砾石的同位素年代学示踪. 科学通报, 46(9): 748—753.
- 路智勇, 2008. 渤海湾盆地车镇凹陷古近系构造样式对沉积及储集层的影响. 古地理学报, 10(3): 277—285.
- 王世虎, 焦养泉, 吴立群, 等, 2007. 鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部古物源与沉积体空间配置. 地球科学——中国地质大学学报, 32(2): 201—208.
- 武法东, 陆永潮, 阮小燕, 1996. 重矿物聚类分析在物源分析及地层对比中的应用——以东海陆架盆地西湖凹陷平湖地区为例. 现代地质, 10(3): 397—403.
- 吴磊, 徐怀民, 季汉成, 2006. 渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系演化及物源分析. 海洋地质与第四纪地质, 26(1): 81—88.
- 肖坤叶, 邓荣敬, 杨桦, 等, 2004. 北塘凹陷新港探区新生代岩浆活动的石油地质意义. 石油勘探与开发, 31(2): 25—28.
- 徐田武, 宋海强, 况昊, 等, 2009. 物源分析方法的综合运用——以苏北盆地高邮凹陷泰一段地层为例. 地球学报, 2(15): 111—117.
- 于志海, 杨池银, 廖前进, 等, 1997. 黄骅拗陷天然气地质. 北京: 石油工业出版社.
- 赵红格, 刘池洋, 2003. 物源分析方法及研究进展. 沉积学报, 21(3): 409—415.
- 周海民, 汪泽成, 郭英海, 等, 2000. 南堡凹陷第三纪构造作用对层序地层的控制. 中国矿业大学学报, 29(3): 326—330.
- 周祖翼, 廖宗廷, 杨凤丽, 等, 2001. 裂变径迹分析及其在沉积盆地研究中的应用. 石油实验地质, 23(3): 332—337.