

胜坨地区沙四上亚段物源体系分析

崔永北¹ 王风华¹ 谭滨田¹ 弭连山¹ 阎 燕^{2,3}

(1. 中国石化 胜利油田分公司 胜利采油厂, 山东 东营 257051; 2. 中国石化 胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015; 3. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要:物源问题的研究对于了解和确定研究区有利沉积相带及储集砂体的分布、寻找有利油气储集层具有重要意义。胜坨地区沙四上勘探程度相对较低,前人关于目的层段的物源体系的研究成果很少。为了进一步查清研究区沙四上沉积时期砂体成因和物源方向,更好地预测砂体的分布,本文综合运用地震、测井、地球化学等资料,采用古地貌分析法、沉积砂体岩屑类型对比法、砂岩百分含量法和沉积物特征元素等方法探讨了胜坨地区沙四上亚段砂体的物源方向,并结合特征元素物源指数判别公式对沙四上亚段物源体系实现了定量评价。综合分析认为研究区沙四上亚段具有多物源体系特征,除了直接来自于胜北断层和坨 94 断层上升盘的物源外,还有沿着胜北断层与坨 94 断层转换带处的物源体系。

关键词:物源体系;岩屑类型;砂岩百分含量;特征元素;沙四上;胜坨地区

中图分类号:P588.21*2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)05-1324-10

历经近 50 年的勘探开发,胜利油田胜坨地区中浅层探井密度已达到 1.2 口/km²,进入高成熟勘探阶段,而相对埋藏较深的沙四段钻探程度相对较低,目前已成为区内最具勘探潜力的层系之一,但由于对沙四段沉积砂体的物源体系、成因及展布缺乏进一步认识,导致砂体预测及评价研究难度增大。为进一步深化研究区沉积成藏认识,因此,相应的对胜坨地区内沙四上亚段物源体系开展了详细的分析研究,从而对下一步该区储层评价和勘探部署有着非常重要的指导意义。

1 地质背景

胜坨地区位于济阳拗陷东营凹陷北部坨—胜—永断裂带中段,区内沉积了巨厚的古近纪地层,是胜利油田油气最为富集的复式油气聚集区之一^[1]。胜坨地区北靠陈家庄凸起,西与东营凹陷内最大的生油洼陷——利津洼陷相接,东为民丰生油洼陷,南临东营凹陷中央隆起带。沙四段沉积时期,盆地处于初始断陷期和深陷初期,以强烈的基底沉陷为特征。在

胜坨地区北部陡坡带发育冲积扇、三角洲及浊积扇三大沉积体系。在西北部远离湖岸的地区,以陆上冲积扇体沉积为主。到沙四晚期,伴随济阳运动 I 幕发生,断裂活动的加剧,古地貌地形高差逐渐加大,湖盆水体加深,湖岸线继续向北扩大,除形成冲积扇体和水下扇体外,还在深湖区同生断层的下降盘发育了浊积扇体。研究区的沉积特征主要受基底断裂——陈南断层,以及其派生的区域二级断层——胜北断层和坨 94 断层的控制。胜北断层和坨 94 断层在平面具有侧列式的组合特征,从而在两条断层相会之处形成了一条近东西走向的断层转换带。

2 物源分析

物源分析在盆地分析中具有重要的意义^[2],是确定沉积物物源位置和性质及沉积物搬运路径、判别沉积盆地的大地构造背景、恢复古环境的重要依据。沉积物源的研究方法很多^[3],针对研究区的特性和相关资料,笔者重点采用古地貌分析法、沉积砂体岩屑类型对比法、砂岩百分含量法和沉积物中特征

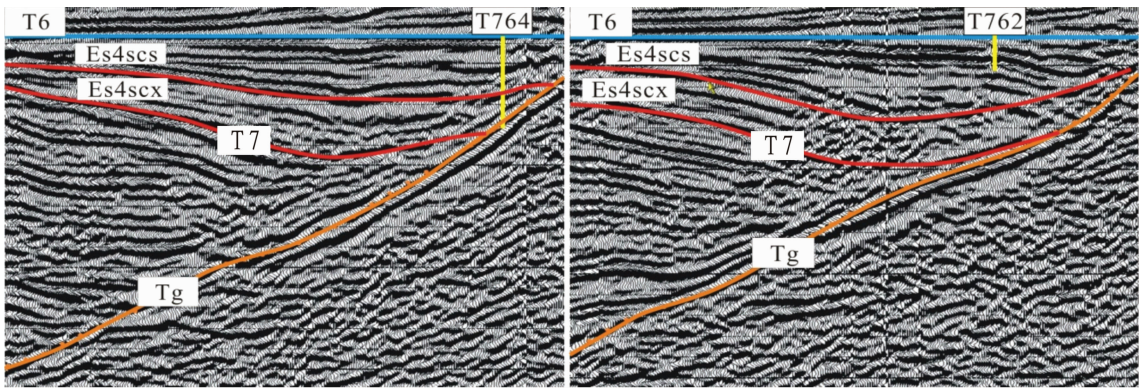


图2 胜北断层下降盘 N-S 方向 T6 拉平地震剖面

T6—沙河街组沙三段油页岩反射界面;T7—沙河街组沙四上底部反射界面;T_g—中生界和古生界之间不整合反射界面;Es4scs—沙河街组沙四上段纯上亚段;Es4scx—沙河街组沙四上段纯下亚段

Fig.2 T6 flatten session of NS-trending downthrown side of Shengbei fault

T6—Seismic reflection of bituminite of the Lower 3rd Member in Shahejie Formation;T7—Seismic reflection at the bottom of the Upper 4th Member of Shahejie Formation; T_g—Seismic reflection discontinuity of Mesozoic and Palaeozoic strata; Es4scs—Chunshang section of the Upper 4th Member in Shahejie Formation ; Es4scx—Chunxia section of the Upper 4th Member of Shahejie Formation)

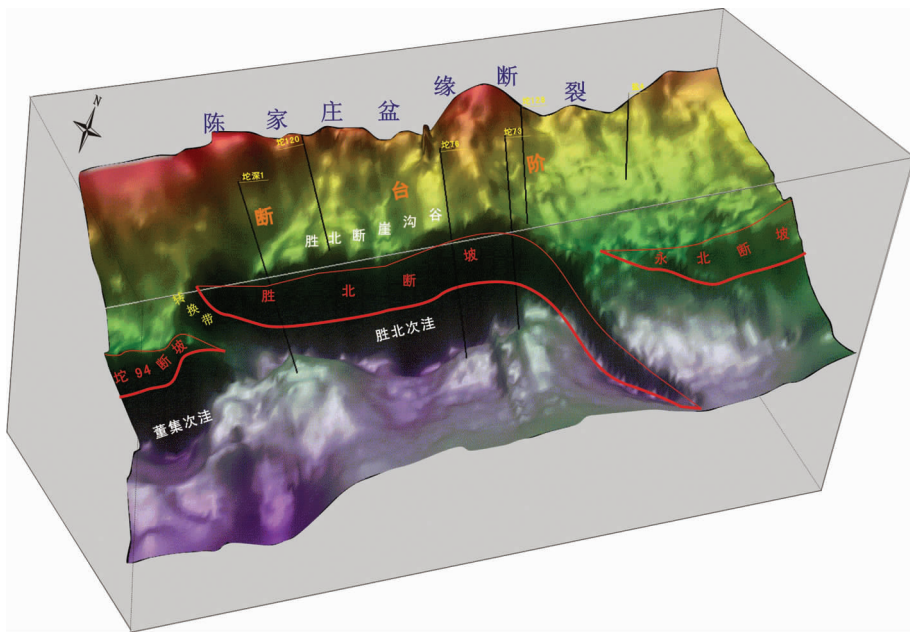


图3 东营凹陷胜北—盐家地区沙四上亚段沉积古地貌图(据陆永潮等,2005)

Fig.3 Map showing the sedimentary palaeogeomorphic map of Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengbei-Yanjia area of Dongying sag (after Lu Yongchao.et al., 2005)

进而建立了胜坨地区胜北断层和坨94断层下降盘沙四段的古水流体系(图4)。通过对古水流体系分布的分析表明:在胜北断层下降盘东段,坨73井和坨732井区主要发育南西向水流;坨94断层下降盘坨712井区主要发育南南东向水流;在坨94断层和胜北断

层之间的构造转换带发育了近东向的水流体系。

2.3 岩屑类型对比法

岩屑类型反映母岩区的性质,因此可以作为判断沉积物来源的一种辅助手段。通过对胜坨地区胜北断层和坨94断层上下盘多口探井沙四上亚段岩

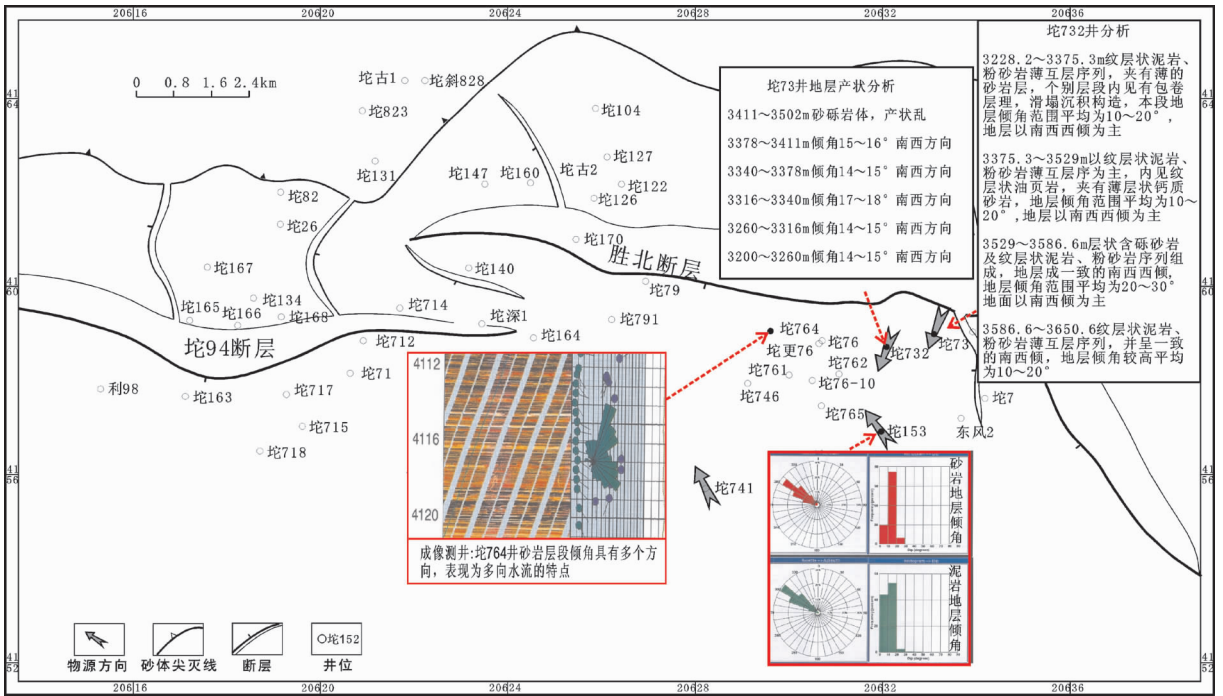


图 4 胜坨地区沙四上亚段古水流分析图

Fig.4 Paleocurrent direction of the Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area

屑类型组合特征进行对比研究, 可以大体判断沉积物源方向。

在胜北断层上升盘, 岩屑类型组合表现为两种类型, 一种为岩屑类型主要是岩浆岩和变质岩, 两者含量均较高, 沉积岩含量较少, 表现为岩浆岩和变质岩两个峰值; 另一种岩屑类型主要是变质岩, 岩浆岩和沉积岩岩屑比较低, 但岩浆岩岩屑含量高于沉积岩岩屑含量, 表现为变质岩高含量的单峰型; 其共同点是岩浆岩含量高于沉积岩岩屑。

在坨 94 断层上升盘, 岩屑类型主要是变质岩岩屑, 一般含量大于 50%, 沉积岩岩屑次之, 含量为 10%~40%, 岩浆岩含量最小, 表现为变质岩高峰的单峰型。

在坨 94 断层下降盘, 所有井岩屑相对百分含量表现为变质岩岩屑含量最高, 沉积岩岩屑次之, 岩浆岩岩屑最少, 与坨 94 断层上升盘岩屑相对百分含量特征类似, 表明坨 94 断层下降盘沉积物直接来源于其上升盘。

在胜北断层下降盘东段, 坨 73 井和坨 732 井岩屑表现为变质岩岩屑单峰特征, 且岩浆岩岩屑高于沉积岩岩屑或与之相近, 与胜北断层上升盘的井的岩屑含量特征相近, 表明其沉积物直接来自胜北断

层上升盘东段。在胜北断层下降盘西段, 坨 76、坨 764 等井沙四上亚段上部岩屑相对百分含量总体上与坨 94 断层上升盘的特征相似, 表现为变质岩岩屑含量最高, 沉积岩岩屑略高于岩浆岩岩屑; 坨 764 井沙四上亚段下部岩屑相对百分含量中岩浆岩含量明显高于变质岩岩屑和沉积岩岩屑, 具有和胜北断层上升盘坨 124 井和坨 125 井近似的特征, 表明胜北断层下降盘沙四上亚段沉积时期, 沉积物来源具有多物源的特征, 即该区块既有直接来自胜北断层上升盘的沉积物还有来自西部坨 94 断层上升盘的沉积物(图 5)。

2.4 特征元素含量比值研究

沉积物中某些特征元素化学性质较为稳定, 主要受物源影响, 相对独立于沉积环境和成岩作用, 在物源区和沉积区具有一定的可比性, 可作为良好的物源指示元素^[6-11]。

2.4.1 研究样品及数据来源

笔者研究工作的资料主要来自胜利油田地质科学研究所用电感耦合等离子体-原子发射光谱分析法所测得的胜坨地区 19 口井中具有物源区沉积物地球化学特征的 12 种元素 (Co、Ni、Mn、Fe、Mg、V、Al、Sr、Ca、Ba、Na 和 K) 111 个样品的分析化验结果。

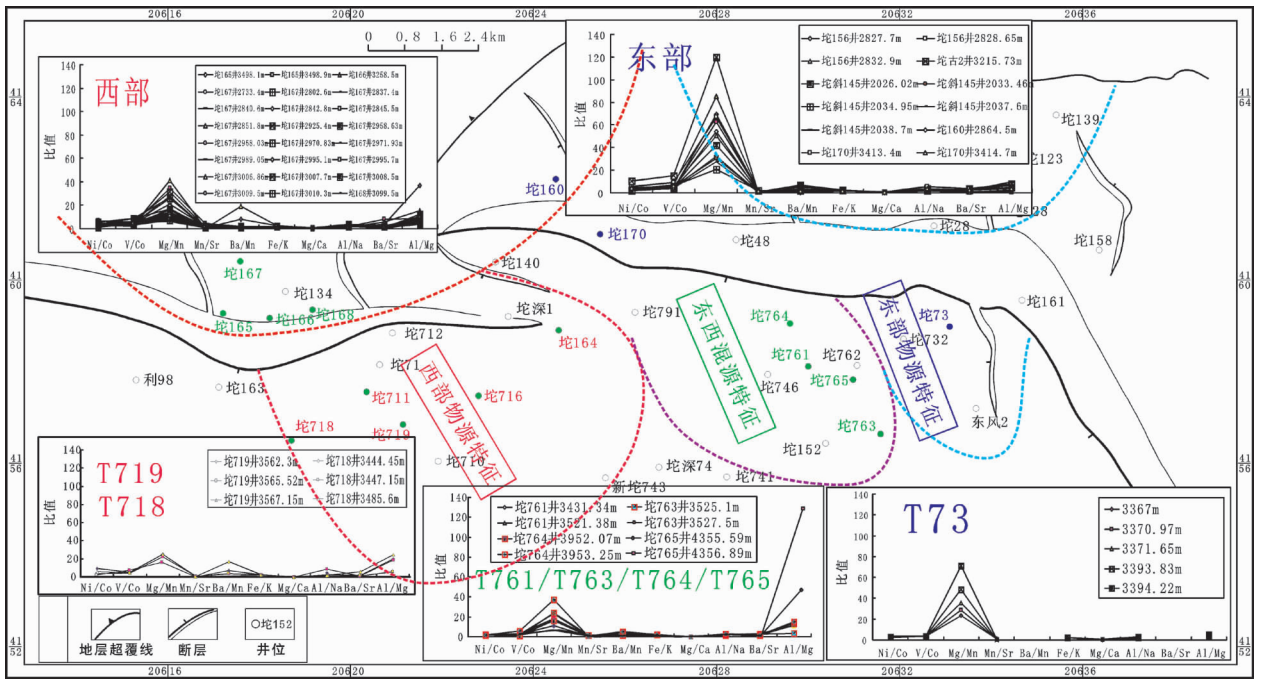


图 6 胜坨地区沙四上亚段沉积物特征元素比值分布图

Fig.6 Distribution of characteristic element ratios of the sediments in the Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area

西部物源特征相似。坨 711、坨 718、坨 164、坨 716 井的特征元素含量比值分布模式较坨 719 井类同，总体表现与西部相似。

(5)坨 761、坨 763、坨 764 和坨 765 井特征元素含量比值分布模式特征表现为：Mg/Mn 比值表现为高值，与东部物源相比较低，与西部物源相比具有很强的相似性。

2.4.4 聚类分析法

利用最能够体现东西物源差异的 Mg/Mn、Al/Na、Al/Mg 比值，对 8 口井与东西物源进行 Q 型聚类分析(图 7)可知：坨 73 井与东部物源聚为一类，表明坨 73 井物源来自东部胜北断层上升盘；坨 711、坨 718、坨 719 井与西部物源聚在一起表明该井区沉积物来源与坨 94 断层上升盘；坨 761、坨 763、坨 764、坨 765 井同样与西部物源聚在一起，表明该区沉积物与西部物源具有较近的亲缘关系。

2.4.5 物源指数分析法

物源指数(PI)适用于两个物源体系控制下的物源判别分析，近年在利用它来判断物源方向已取得了较好的效果^[12-14]。公式如下：

$$PI_1 = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (|C_{ij} - D_{1j}|) / \text{range}(j)}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (|C_{ij} - D_{1j}|) / \text{range}(j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (|C_{ij} - D_{2j}|) / \text{range}(j)}$$

式中：PI₁为待判沉积物与端员沉积物 1 间的物源指数；C_{ij}表示第 i 个样品第 j 个特征元素比值；D_{1j}和 D_{2j}分别表示端员沉积物 1 与端员沉积物 2 中第 j 个特征元素比值的平均值；range(j)表示沉积物中第 j 个特征元素比值的极差；n 表示样品个数；m 表示特征元素比值个数。PI 反映了沉积物之间化学成分的接近程度，其值介于 0~1，PI 值越小说明待判沉积物与端员沉积物间的化学组成越接近。通常情况下，PI₁(或 PI₂)介于 0~0.45，待判沉积物物源为端员沉积物 1 (或端员沉积物 2)；PI₁ (或 PI₂) 为 0.45~0.55，待判沉积物物源为端员沉积物 1 和端员沉积物 2 的混源；PI₁(或 PI₂)为 0.55~1，待判沉积物物源为端员沉积物 2(或端员沉积物 1)。

通过对特征元素比值分布模式分析发现，Mg/Mn、Ba/Mn、Al/Na、Ba/Sr、Al/Mg 比值最能代表东西物源差异。东部物源中 Mg/Mn 值高，一般大于

30, 平均值约为西部物源 Mg/Mn 值的 2.5 倍; 西部物源中 Al/Mg 值一般大于 4, 平均值约为南部物源 Al/Mg 值的 1.5 倍。因此, 利用 Mg/Mn、Ba/Mn、Al/Na、Ba/Sr、Al/Mg 比值计算研究区坨 73、坨 164、坨 711、坨 718、坨 719、坨 761、坨 763、坨 764 和坨 765 等 9 口井的东西物源间的物源指数(表 1)。综合研究区实际情况与物源指数分析结果, 认为: $PI_{东}(PI_{西})$ 介于 0~0.35, 待判沉积物物源来自东部, 胜北断层上升盘; $PI_{东}(PI_{西})$ 介于 0.65~1, 待判沉积物物源来自西部, 坨 94 断层上升盘; $PI_{东}(PI_{西})$ 介于 0.35~0.65, 待判沉积物物源为东西混源。结果表明, 坨 73 井 $PI_{东}$ 为 0.278, 其物源胜北断层上升盘; 坨 164、坨 711、坨 718、坨 719 等井的 $PI_{西}$ 分别为 0.341、0.288、0.205、0.226, 其沉积物物源来自坨 94 断层上升盘; 坨 761、坨 763、坨 764、坨 765 井的 $PI_{东}$ 分别为 0.612、0.641、0.587、0.55, 其沉积物具有东西混源的特征。

总之, 综合特征元素含量比值分布模式、聚类分析法、物源指数法等分析方法, 研究表明: 坨 719、坨 716 等, 坨 94 断层下降盘井区的沉积物主要来自与坨 94 断层的上升盘; 坨 73 井区沉积物主要来自胜北断层上升盘; 而坨 764 井区的沉积物在不排除来自胜北断层上升盘的可能性的前提下, 有很大一部分来自坨 94 断层上升盘, 具有东西混源的特征。

2.5 砂砾岩分布模式法

正常沉积作用下一般粗碎屑沉积物分布于盆地的外围地区, 沿着水流方向沉积物粒度逐渐变细, 且沉积地层中砂砾岩百分含量也逐渐降低。因此, 利用

表 1 胜坨地区沙四上亚段沉积物物源指数 (PI)

Table 1 Provenance index of sediments of the Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area

井号	深度 / m	$PI_{东}$	$PI_{西}$	物源判别	样品数
坨 73	3367.0-3394.22	0.278	0.712	东部物源	5
坨 164	3413.8-3416.3	0.659	0.341	西部物源	3
坨 711	3196.97-3292.51	0.712	0.288	西部物源	9
坨 718	3444.45-3485.6	0.795	0.205	西部物源	3
坨 719	3562.3-3567.15	0.774	0.226	西部物源	3
坨 761	3431.34-3546.5	0.612	0.388	东西混源	5
坨 763	3405.57-3527.5	0.641	0.359	东西混源	3
坨 764	3949.4-4170.95	0.587	0.413	东西混源	27
坨 765	4355.59-4356.0	0.55	0.45	东西混源	4

沉积地层中砂砾岩含量平面变化可判断物源和古水流方向。

从沙四上亚段砂岩百分含量等值线图(图 8)可以看出, 胜坨地区胜北断层下降盘和坨 94 断层下降盘沙四段沉积时期存在多个物源方向。坨 94 断层下降盘其物源主要来自断层上升盘的南北向物源, 在胜北断层下降盘其物源主要来自两个方向。一个来自上升盘的南北向物源, 一个是基本上沿断层走向的近东西向物源。

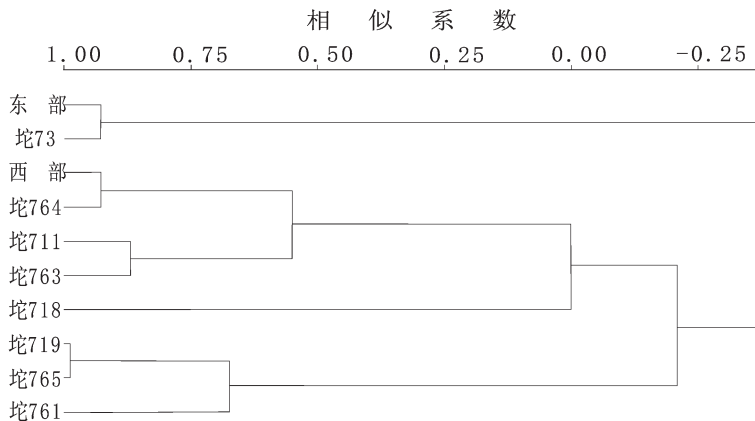


图 7 胜坨地区沙四上亚段特征元素含量比值井平均值 Q 型聚类分析图

Fig.7 Q-type cluster plot of ratios of characteristic elements of the Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area

- Pang Rui Feng, Gao Shu Xing, Wang Fenghua, et al. Study and Practice of Exploration in Shengtuo Area [M]. Beijing:China Petrochemical Press, 2004:46-50 (in Chinese with English abstract).
- [2] 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 物源分析的研究与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4):104-110.
- Wang Zhengjiang, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Research and prospect of provenance analysis [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000, 20(4):104-110 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3):409-415.
- Zhao Hongge, Liu Chiyang. Means and study progress of provenance analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3):409-415 (in Chinese with English abstract).
- [4] 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 1992:234-237.
- Feng Zengzhao. Sedimentary Petrology [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1992:234-237(in Chinese with English abstract).
- [5] 丁次乾. 矿场地球物理[M]. 东营:石油大学出版社, 1994:244-250.
- Ding Ciqian. Geophysical Well Testing [M]. Dongying:University of Petroleum Press, 1994:244-250 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨江海, 杜远生, 徐亚军, 等. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1032-1041.
- Yang Jianghai, Du Yuansheng, Xu Yajun, et al. Major element characteristics of sandstones and provenance analysis of basins [J]. Geology in China, 2007, 34(6):1032-1044 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈庆春, 吴智平, 李伟. 济阳拗陷稀土元素特征及其在物源对比中的应用[J]. 地质评论, 2003, 49(6):622-629.
- Chen Qingchun, Wu Zhiping, Li Wei. Geochemistry of rare earth elements and its application in the source identification in the Jiyang Depression [J]. Geology Review, 2003, 49(6):622-629 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 2003:6-10.
- Li Pilong. Petroleum Geology and Exploration of Continental Fault Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2003:6-10 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王爱萍, 杨守业, 李先从. 南京地区下蜀土元素地球化学特征及物源判别[J]. 同济大学学报, 2001, 29(6):657-661.
- Wang Aiping, Yang Shouye, Li Congxian. elemental geochemistry of the Nanjin Xiashu Loess and the provenance study [J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(6):657-661 (in Chinese with English abstract).
- [10] 杨江海, 杜远生, 朱杰. 甘肃景泰正路下志留统复理石杂砂岩沉积地球化学特征[J]. 地质科技情报, 2006, 25(5):27-31.
- Yang Jianghai, Du Yuansheng, Zhu Jie. Geochemical characteristics of the lower Silurian flysch greywacke in Zhenglu, Jingtai County, Gansu Province [J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(5):27-31 (in Chinese with English abstract).
- [11] 陈衍景, 杨忠芳. 沉积物微量元素示踪物源区和地壳成分的研究方法和现状[J]. 地质地球化学, 1996, 15(3):7-11.
- Chen Yanjing, Yang Zhongfang. Methods and present of sedimentary microelement directed to provenance and composition of Earth crust [J]. Geology and Geochimica, 1996, 15(3):7-11 (in Chinese with English abstract).
- [12] 谢远云, 何葵, 周嘉, 等. 哈尔滨沙尘暴的化学特征及其物质源探讨[J]. 地理研究, 2006, 25(2):255-261.
- Xie Yuanyun, He Kui, Zhou Jia, et al. Chemical characteristic of duststorm deposits in Harbin and its matter origin [J]. Geographical Research, 2006, 25(2):255-261 (in Chinese with English abstract).
- [13] 操应长, 王艳忠, 徐涛玉, 等. 特征元素比值在沉积物物源分析中的应用——以东营凹陷王 58 井区沙四上亚段研究为例[J]. 中国地质, 2007, 25(2):230-238.
- Cao Yingchang, Wang Yanzhong, Xu Taoyu, et al. Application of the ratio of characteristic elements in provenance analysis: a case study from the upper part of the fourth member of the Shahejie Fm. in the W58 area, Dongying Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(2):230-238 (in Chinese with English abstract).
- [14] 韩宗珠, 李敏, 李安龙, 等. 青岛田横岛北岸海滩沉积物稀土元素特征及物源判别[J]. 海洋湖沼通报, 2010, 3:131-136.
- Han Zongzhu, Li Min, Li Anlong, et al. REE characteristic and provenance discrimination of sediments from beach north shore of Tianheng island in Qingdao [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010, 3:131-136 (in Chinese with English abstract).

Research on the source direction in Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area

CUI Yong-bei¹, WANG Feng-hua¹, TAN Bin-tian¹, MI Lian-shan¹, YAN Yan^{2,3}

(1. Shengli Oil Recovery Plant of Shengli Oil Field, Sinopec, Dongying 257051, Shandong, China; 2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oil field Company, Sinopec, Dongying 257015, Shandong, China; 3. Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China)

Abstract: The study of sediment source is significant in understanding and identifying favorable sedimentary facies belts and distribution of reservoir sands in the study area as well as in prospecting for favorable oil and gas reservoirs. Because the exploration extent of the 4th Member of Shahejie Formation is at a relatively low level in Shengtuo area, previous researches on the purpose layer sedimentary source system is very insufficient. The authors studied the source direction of the Upper 4th Member of Shahejie Formation in Shengtuo area in such aspects as palaeo-geomorphologic analysis, lithic fragment type of sediments, proportion of sandstone and characteristic element type, and distribution studies from seismic, logging and geochemical data. Combined with the source indexes of characteristic elements, the authors evaluated quantitatively the source system of the Upper 4th Member of Shahejie Formation in this area. According to the result, the authors point out that the source of the Upper 4th Member of Shahejie Formation was derived from the uplifted side directly as well as the source system from the accommodation zone of Shengbei and Tuo94 faults. Other sources came along the transfer zone of Shengbei and Tuo94 fault.

Key words: source direction; lithic fragment type; characteristic element; proportion of sandstone; Upper 4th Member of Shahejie Formation, Shengtuo area

About the first author: CUI Yong-bei, male, born in 1975, master, senior engineer, engages in oil and gas geological exploration; E-mail: cteddy@163.com.