

文章编号: 1000-0550(2007) 02-0230-09

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

操应长 王艳忠 徐涛玉 弭连山

(中国石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 利用 Ni/C_o V/C_o Mg/M_n Mn/Sr Ba/M_n Fe/K Mg/C_a Ba/Sr Mg/Al₁ Al₁/Na 十个特征元素比值, 通过分布模式、物源指数、Q 型聚类等方法, 对东营凹陷王 58 井区沙四上亚段砂体物源进行了研究。沙四上亚段沉积时期, 王 58 井区存在南北两大物源体系, 王 58 井及其以北地区沉积物主要来自北部物源体系, 王斜 583 和王 126 井及其以南地区主要为南部物源体系, 中部牛 114—斜 1 井一带具有南北混源特点。研究表明利用特征元素比值判别沉积物物源方向, 能够有效地避免水动力及成岩作用的影响, 更加准确地判断沉积物的物源方向。

关键词 砂体 特征元素 物源 沙四上亚段 东营凹陷

第一作者简介 操应长 男 1969 年出生 博士 教授 沉积学及层序地层学 E-mail caoych@mail.hdpu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

沉积物中的特征元素包括大部分主量元素和部分微量元素, 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, 在风化剥蚀、搬运、沉积、成岩过程中其含量基本保持不变, 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^[1-3]。利用特征元素方法判别沉积物物源, 能够有效地避免水动力、矿物组成等因素

的影响, 尽可能的突出物源信息^[4,5], 近二十几年来此方面研究已取得了相当好的效果^[1-10]。但是, 大多数特征元素均受成岩作用的影响, 导致物源判别结果出现多解性, 而选择化学性质相近、相关性强、在沉积成岩过程中富集程度相似的特征元素比值作为物源示踪指标, 能够有效地避免成岩作用的影响, 更加准确地判断沉积物的物源方向。

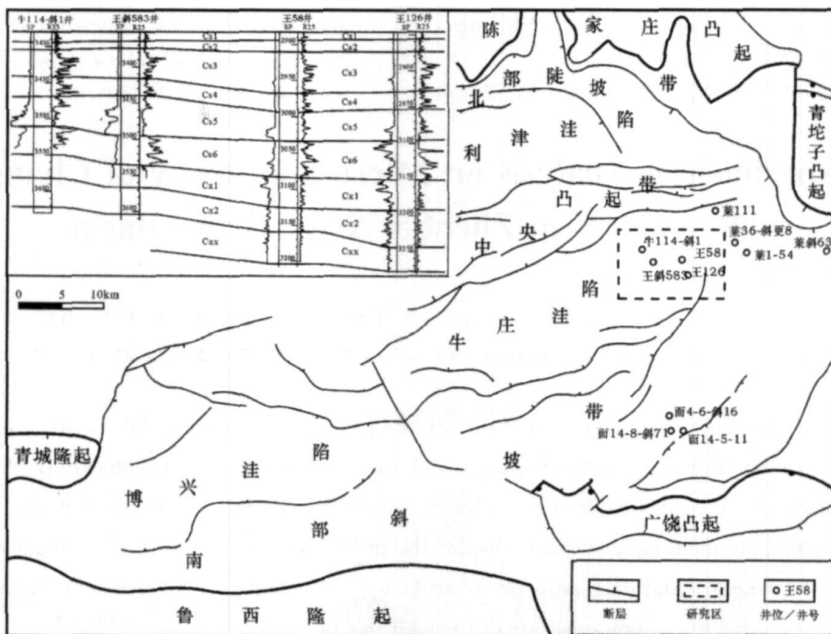


图 1 东营凹陷王 58 井区区域位置图

Fig 1 The regional location map of W 58 area Dongying depression

王 58 井区位于东营凹陷牛庄洼陷东部斜坡带, 北邻中央凸起带和青坨子凸起, 南部通过斜坡带与鲁西隆起相连, 沙四上亚段自下而上可划分为 C_{xx} C_{x2} C_{x1} C_{s6} C_{s5} C_{s4} C_{s3} C_{s2} C_{s1} 共 8 个砂层组 (图 1), 岩性以褐灰色泥岩、油页岩、灰质泥岩和灰质粉砂岩、粉细砂岩为主。近两年, 在东营凹陷王 58 井区先后完钻的牛斜 114 和王 58 井均钻遇沙四上亚段油层并获高产工业油流, 如王 58 井沙四上亚段 3014 ~ 3028 m 井段, 试油获 5mm 油嘴自喷 96 吨的高产工业油流, 沙四上亚段无疑已成为王 58 井区最重要的勘探层系。但是, 沙四上亚段沉积时期, 王 58 井区位于北部青坨子凸起和南部鲁西隆起两大物源体系交汇处, 利用常规方法很难准确地判断沉积物物源方向, 导致沉积体系展布及储层评价研究难度增大, 从而影响了下一步的勘探计划。本文结合东营凹陷王 58 井区的沉积学, 综合运用特征元素比值分布模式、物源指数、聚类分析等方法, 很好地解决了王 58 井区沙四上亚段沉积物物源方向。

1 研究样品及数据来源

利用同粒级全岩样, 并选择那些在沉积物形成过程中较稳定元素作为物源指示元素, 可有效地避免水动力因素的影响而尽可能的突出物源信息^[4]。一般认为粘土及粉砂粒级全岩样最能反映沉积物物源区的物质组成特征^[3]。因此, 选择王 58 王 126 牛斜 114 斜 1 王斜 58 等井 40 块沙四上粉砂岩及泥岩样品代表研究区信息, 选择靠近青坨子凸起分布的菜 111 菜斜 36 斜更 8 菜 1-54 等井 9 块沙四上粉砂岩和粉细砂岩样品, 其基本可以代表北部物源信息, 选择靠近南部广饶凸起分布的面 46 斜 16 面 14-5-11 等井 6 块沙四上粉砂岩样品, 其基本可以代表南部物源信息 (图 1)。利用 ICP-AES 方法测定 Zn C_q N_i Mn Fe Mg V Al Ga Sr Ca Ba Na K 共 14 种特征元素含量 (所有样品均由中国石化胜利油田地质科学院石油地质测试中心测试), 标准样及重复样的分析表明元素测定误差小于 10%, 数据结果可靠。

2 物源分析方法

2.1 特征元素比值分布模式

该方法是指通过选取多个可靠的特征元素含量比值作为物源示踪指标, 绘制特征元素比值分布模式图, 根据沉积区与物源区特征元素比值分布模式的相似程度, 判断沉积物物源方向。

2.1.1 特征元素含量比值的选取

化学性质稳定, 主要受物源影响, 相对独立于沉积环境和成岩作用, 在搬运和沉积过程中其含量基本保持不变, 相关性较好的两种特征元素含量比值可作为物源对比的示踪指标。某些特征元素在搬运、沉积和成岩过程中绝对含量会发生变化, 但是这些元素的化学性质相似性较好, 具有一致的富集程度和富集规律, 相对含量基本保持不变, 选择相关性较好的两种元素求其含量比值同样可作为物源对比的示踪指标, 如 Mg/Mn Ba/Al 四元素在物源区和沉积区绝对含量变化较大, 但 Al 与 Mg Mg 与 Mn Ba 与 Mn 的含量变化具有较强的一致性, 其比值在物源区与沉积区基本

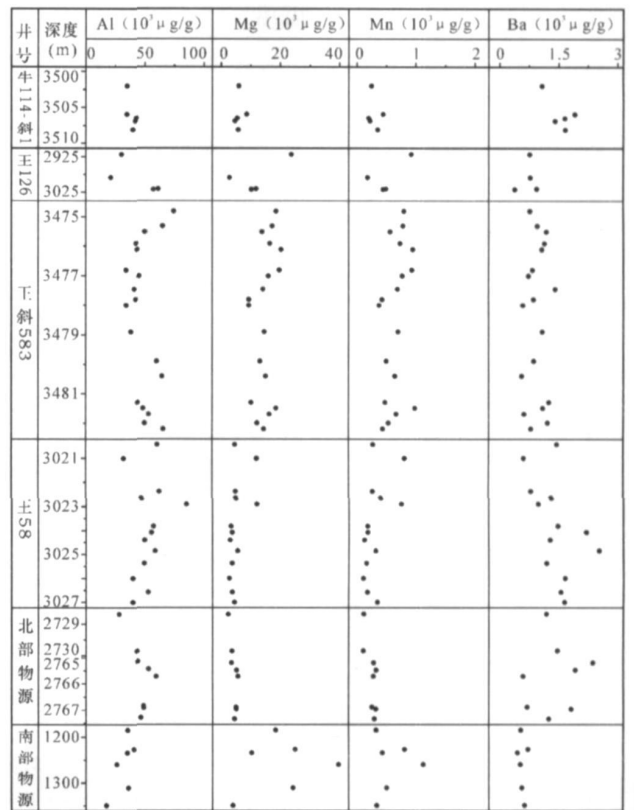


图 2 东营凹陷王 58 井区及南北邻区沙四上亚段沉积物特征元素含量对比图

Fig. 2 Comparison of characteristic elements content of the sediments of the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation in W58 area and nearby area, Dongying depression

保持不变 (图 2), 因此 Mg/Mn Ba/Mn Al/Mg 可作为良好的物源示踪指标。Co²⁺、Ni²⁺、Fe²⁺ 同属铁族元素, 离子半径相近, 迁移能力弱, 具有较好的亲缘性, Ni/Co 比值在不同的沉积环境中变化不大, 其大小主要受岩浆晶出方式决定, 是物源对比的一个可靠指

标^[11]。李守军认为 Ca Sr Mn 元素常组成一个共生组合,其富集与否具有同步性,因此 Mn/Sr 可作为物源对比的依据。Fe Al K 在化学风化时活动性较小,迁移较少,含量变化不大,Fe/K 可以作为物源对比的示踪指标^[12]。Ca 和 Mg 主要富存在碳酸盐矿物和硅酸盐矿物中,其具有相近的淋失和富集规律,因此 Mg/Ca 可以作为物源对比的示踪指标。Sr 和 Ba 的地球化学特性较为相似,二者均可以类质同像的形式存在于(钾)长石,近源碎屑沉积物中它们关系密切,因此 Ba/Sr 也可以作为物源示踪指标。Mg/Al Al/Na 反映了活动组分(碱土和碱金属)与惰性组分 Al 之间的关系,也可作为物源示踪指标^[13]。杨守业等曾用 Mg/Ca Al/Na K/Na 作为示踪参数对苏北沉积物进行物源分析,取得良好的效果^[6]。吴智平等利用聚类分析三代亲缘的方法提取出 V/Ca Mg/Mn Ba/Mn 作为物源示踪指标对济阳拗陷第三系地层进行物源分析。在前人研究的基础上,结合研究区的实际情况选取了 Ni/Ca V/Ca Mg/Mn Mn/Sr Ba/Mn Fe/K Mg/Ca Ba/Sr Al/Mg Al/Na 十个特征元素比值作为物源示踪指标。

2.1.2 特征元素比值分布模式

利用 13 口代表井 55 块样品所测得的 Ca Ni Mn Fe Mg V Al Sr Ca Ba Na K 共 12 种特征元素含量,分别计算 Ni/Ca V/Ca Mg/Mn Mn/Sr Ba/Mn Fe/K Mg/Ca Al/Na Ba/Sr Al/Mg 含量比值(表 1),绘制每块样品的特征元素比值分布模式,其特征如下:

(1) 南部物源特征元素比值分布模式特征表现为单峰型: Mg/Mn 比值为高值,一般大于 20 其它比值均小于 5 整体形态表现为单峰型(图 3)。

(2) 北部物源特征元素比值分布模式特征表现为三峰型: Mg/Mn Ba/Mn Al/Mg 比值为高值,其中 Mg/Mn 比值最高,多数为 15~20 Al/Mg 比值一般为 10~15 Ba/Mn 比值变化幅度较大,多数为 5~10 其它比值变化不大,一般小于 5(图 4)。

(3) 王 126 井特征元素比值分布模式特征表现为: Mg/Mn 比值为高值,除 2983.69m 样品外均大于 20 其它比值无明显特征;总体形态与南部物源特征相似,表现为单峰型(图 5)。

(4) 王斜 583 井特征元素比值分布模式特征与南部物源特征极为相似,表现为 Mg/Mn 比值一般大于 20 其它比值基本小于 5 总体形态为单峰型(图 6)。

(5) 王 58 井特征元素比值分布模式特征与北部物源特征相似,表现为 Mg/Mn Ba/Mn Al/Mg 比值为高值,其中 Mg/Mn 比值最高,多数为 15~20, Al/Mg 比值一般为 10~15 Ba/Mn 比值变化幅度较大,多数为 5~10 V/Co 比值略有升高,一般为 5~10 其它比值均小于 5 整体形态表现为三峰型(图 7)。

(6) 牛 114 斜 1 井特征元素比值分布模式特征较为复杂: 3505.93m 和 3508.1m 样品特征与南部物源相似,但是 Mg/Mn 比值偏低(小于 20); 3502m、3506.5m、3506.89m 样品特征与北部物源相似,但 Mg/Mn 偏高(大于 20),而 Ba/Mn 和 Al/Mg 比值偏低(图 8)。

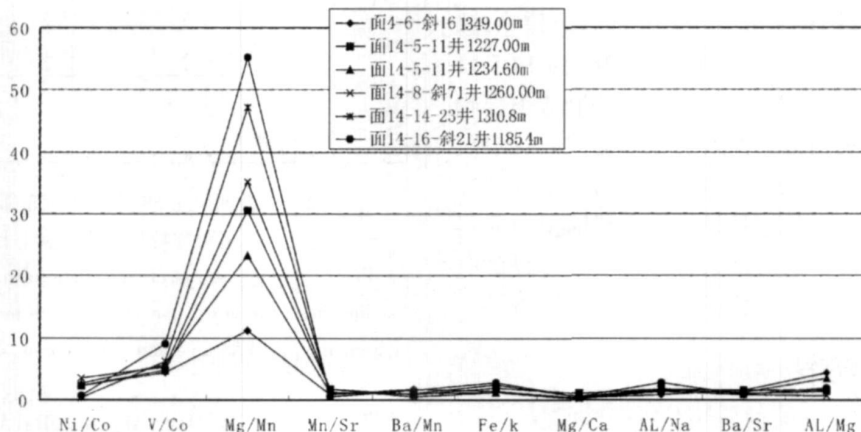


图 3 南部物源特征元素比值分布模式

Fig 3 The distribution pattern of characteristic elements ratios in the south provenance

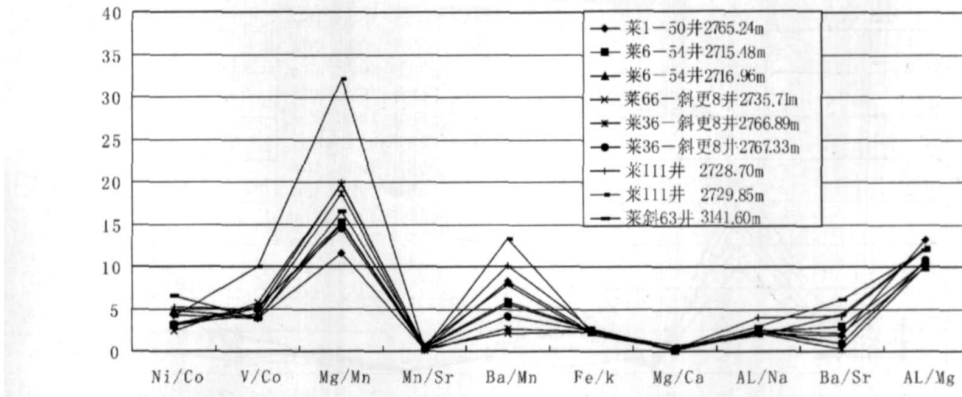


图 4 北部物源特征元素比值分布模式

Fig 4 The distribution pattern of characteristic elements ratios in the north provenance

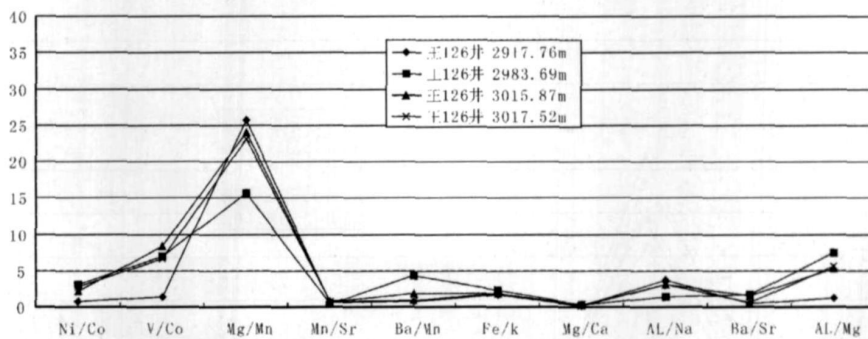


图 5 王 126 井特征元素比值分布模式

Fig 5 The distribution pattern of characteristic elements ratios of W126

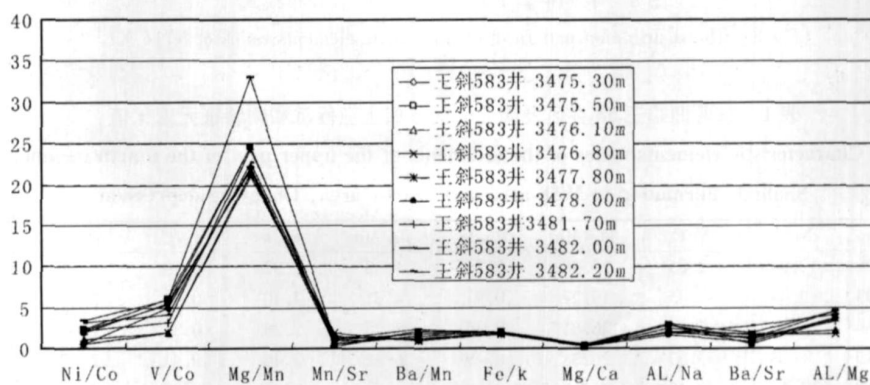


图 6 王斜 583 井特征元素比值分布模式

Fig 6 The distribution pattern of characteristic elements ratios of WX583

2.1.3 物源方向分析

通过特征元素比值分布模式分析发现,王 126 井和王斜 583 井特征元素比值分布模式与南部物源特征相似,说明其物源来自南部鲁西隆起;王 58 井特征

元素比值分布模式特征与北部物源一致,说明其物源为北部青坨子凸起;牛 114 斜 1 井特征元素比值分布模式部分与南部物源相似,部分与北部物源相似,表明其沉积物可能存在南北混源的特征。

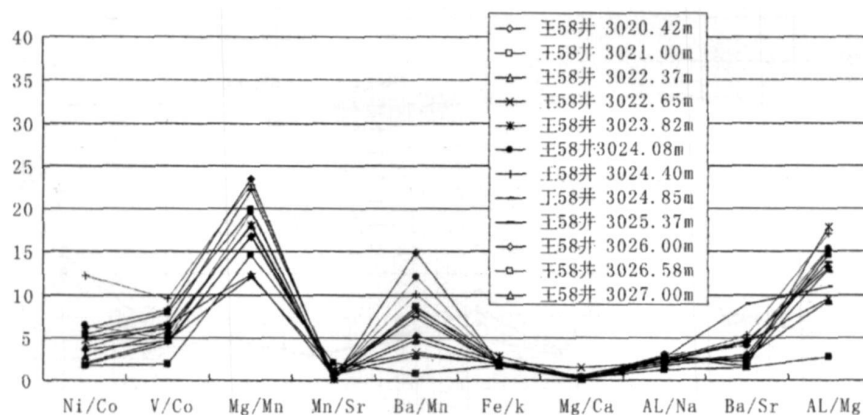


图 7 王 58井特征元素比值分布模式

Fig. 7 The distribution pattern of characteristic elements ratios of W58

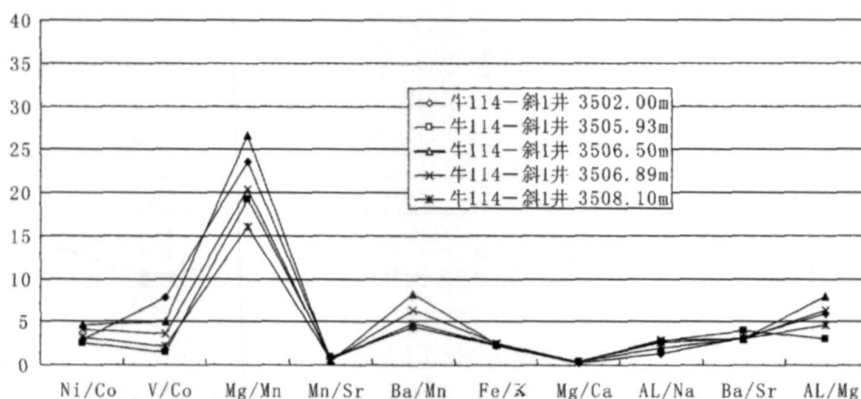


图 8 牛 114斜 1井特征元素比值分布模式

Fig. 8 The distribution pattern of characteristic elements ratios of N114-X1

表 1 东营凹陷王 58井区及南北邻区沙四上亚段沉积物特征元素比值

Table 1 Characteristic elements ratios of the sediments of the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation in W 58 area and nearby area, Dongying depression

井号	深度 /m	Ni/Co	V/Co	Mg/Mn	Mn/Sr	Ba/Mn	Fe/k	Mg/Ca	AL/Na	Ba/Sr	AL/Mg
牛 114斜 1	3502.00	2.94	7.85	23.58	0.74	4.33	2.32	0.29	1.37	3.20	5.98
	3505.93	2.49	1.45	19.27	0.91	4.31	2.40	0.41	2.80	3.92	3.00
	3506.50	4.60	5.01	26.61	0.36	8.25	2.38	0.37	1.99	3.01	8.00
	3506.89	4.08	3.57	20.38	0.49	6.32	2.46	0.41	2.87	3.11	6.40
	3508.10	3.15	2.10	15.97	0.65	4.73	2.43	0.39	2.71	3.10	4.59
王 126	2917.76	0.80	1.40	25.69	0.65	0.83	1.64	0.23	3.67	0.53	1.27
	2983.69	3.04	6.94	15.61	0.39	4.34	2.31	0.33	1.41	1.68	7.50
	3015.87	2.15	8.43	24.08	0.82	1.92	1.87	0.26	3.10	1.57	5.19
	3017.52	2.77	6.64	23.12	0.74	0.87	1.85	0.20	3.03	0.64	5.61
王斜 583	3474.80	0.88	6.43	23.27	0.94	0.97	2.02	0.31	3.82	0.91	4.02
	3475.30	0.60	5.01	22.08	0.92	1.23	1.91	0.30	2.82	1.13	3.77
	3475.50	2.29	6.03	24.58	0.28	2.12	2.07	0.41	2.93	0.59	3.61
	3475.90	1.24	3.58	22.48	0.96	1.57	2.22	0.38	2.63	1.51	2.59
	3476.10	1.15	1.90	21.38	1.45	1.14	1.97	0.31	2.47	1.65	2.14
	3476.80	0.57	1.93	21.05	1.94	0.90	1.85	0.29	2.05	1.75	1.73
	3477.00	1.61	2.70	20.68	1.14	0.96	1.83	0.29	2.32	1.08	2.83
3477.45	2.44	3.18	20.46	1.13	2.05	1.93	0.31	2.22	2.31	2.91	

	3477.80	2.27	5.40	21.79	0.59	2.01	2.12	0.27	2.05	1.20	4.53
	3478.00	1.99	5.48	24.65	0.50	1.56	2.05	0.30	1.69	0.78	3.66
	3478.90	2.66	3.44	20.75	1.11	1.55	2.01	0.38	2.18	1.72	2.62
	3479.90	5.11	7.10	26.24	0.96	1.72	1.87	0.54	2.41	1.65	4.58
	3480.40	4.18	6.99	23.17	1.64	0.86	1.92	0.45	2.51	1.41	4.30
	3481.30	2.49	3.19	21.15	0.98	2.61	2.05	0.29	1.89	2.57	4.34
	3481.50	1.39	2.59	18.81	1.84	1.11	1.84	0.29	1.78	2.05	2.62
	3481.70	2.20	3.21	24.33	1.52	0.93	1.84	0.41	1.95	1.41	3.28
	3482.00	3.14	4.19	22.64	1.20	2.28	1.98	0.35	1.90	2.74	4.11
	3482.20	3.49	5.87	32.97	1.07	1.82	2.04	0.52	2.97	1.94	4.54
王 58	3020.42	3.56	4.55	16.79	0.85	5.30	2.16	0.25	2.54	4.51	13.1
	3021.00	1.73	1.93	14.69	1.99	0.75	1.78	0.31	1.17	1.49	2.68
	3022.37	2.86	5.67	18.07	0.70	3.00	2.04	0.29	2.74	2.10	12.96
	3022.65	1.96	4.76	12.14	1.38	3.25	1.97	1.48	2.13	4.49	9.57
	3022.90	2.19	7.16	15.80	1.65	1.30	17.18	0.30	3.34	2.15	7.13
	3023.82	4.76	6.06	17.95	0.20	8.30	2.78	0.31	2.79	1.63	17.81
	3024.08	6.43	4.81	19.64	0.33	12.02	2.00	0.30	2.93	4.00	15.36
	3024.40	12.20	9.50	22.85	0.52	10.09	2.07	0.44	2.32	5.20	17.07
	3024.85	1.93	4.32	16.91	1.12	7.91	1.83	0.59	2.70	8.87	10.81
	3025.37	4.92	6.56	22.14	0.61	7.32	1.94	0.38	2.25	4.43	13.69
	3026.00	6.19	8.16	23.49	0.20	14.96	1.93	0.32	2.04	2.93	15.23
	3026.58	5.31	7.98	19.90	0.30	8.57	1.97	0.22	2.29	2.56	14.58
	3027.00	3.94	6.39	12.32	0.58	4.70	1.76	0.12	1.77	2.73	9.21
莱 1-54	2765.20	4.24	3.86	11.60	0.23	8.32	2.30	0.09	2.16	1.92	13.21
	2765.48	3.11	5.12	15.26	0.49	5.84	2.56	0.16	2.34	2.87	10.54
	2766.96	4.78	4.01	15.11	0.37	5.59	2.45	0.14	2.51	2.09	9.94
莱 36斜更 8	2765.71	2.34	5.79	19.74	0.46	2.09	2.27	0.17	2.47	0.96	10.73
	2766.89	3.07	4.43	18.69	0.11	2.68	2.33	0.17	2.17	0.29	10.10
	2767.33	3.25	5.35	14.47	0.23	4.17	2.47	0.12	2.21	0.95	10.74
莱 111	2728.70	5.17	4.95	19.86	0.41	10.13	2.61	0.28	4.04	4.15	12.13
	2729.85	4.10	9.94	32.11	0.33	13.38	2.28	0.63	1.88	4.41	12.31
莱斜 63	3141.60	6.47	3.91	16.53	0.78	7.81	2.04	0.23	2.93	6.13	12.00
面 4-6斜 16	1349.00	2.24	4.41	11.20	0.83	1.84	1.41	0.36	0.87	1.53	4.53
面 14-5-11	1227.00	2.38	4.79	30.59	1.76	0.87	1.97	1.03	1.71	1.53	1.63
	1234.60	2.60	5.71	23.25	1.21	1.00	1.20	0.43	1.61	1.20	3.47
面 14-8斜 71	1260.00	3.55	5.30	35.14	1.79	0.45	1.20	0.26	1.48	0.81	0.66
面 14-14-23	1310.8	0.36	6.19	47.18	0.99	1.08	2.44	0.53	1.77	1.07	1.49
面 14-16-x21	1185.4	0.70	9.08	55.23	0.58	1.60	2.86	0.49	2.92	0.93	1.94

2.2 物源指数法

物源指数 (PI) 适用于两个物源体系控制下的物

源判别分析, 近年来在利用物源指数判断物源方向方面已取得了较好的效果, 其计算公式^[6, 14]为:

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

式中: PI_1 为待判沉积物与端元沉积物 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} 分别表示端元沉积物 1 与端元沉积物 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 之间, PI 值越小说明待判

沉积物与端元沉积物间的化学组成越接近。通常情况下, PI_1 (或 PI_2) 介于 0~0.45 之间, 待判沉积物物源为端元沉积物 1 (或端元沉积物 2); PI_1 与 PI_2 为 0.45~0.55 待判沉积物物源为端元沉积物 1 和端元沉积物 2 的混源; PI_1 (或 PI_2) 为 0.55~1 待判沉积物物源为端元沉积物 2 (或端元沉积物 1)。王 58 井区位于南北物源交汇处, 适合运用物源指数进行判

别。

通过特征元素比值分布模式分析发现, Mg/Mn 、 Ba/Mn 、 Al/Mg 最能代表南北物源差异。南部物源中 Mg/Mn 值高, 一般大于 23, 平均值约为北部物源 Mg/Mn 值的 2 倍; 北部物源中 Ba/Mn 值均大于 2, 平均值约为南部物源中 Ba/Mn 值的 6 倍, Al/Mg 值均大于 9, 其平均值约为南部物源中 Al/Mg 值 5 倍 (表 1)。 Mg/Mn 、 Ba/Mn 、 Al/Mg 在南北物源中差异非常显著, 可以作为北部青坨子凸起和南部鲁西隆起沉积物的示踪指标。因此, 利用 Mg/Mn 、 Ba/Mn 、 Al/Mg 比值计算研究区王斜 583、王 126、牛 114 斜 1、王 58 四口井与南北物源间的物源指数 (表 2)。结果表明, 王斜 583 与王 126 两口井 $PI_{南}$ 分别为 0.129 和 0.281, 其物源为南部鲁西隆起; 王 58 井 $PI_{北}$ 为 0.304, 说明其物源为北部青坨子凸起; 牛 114 斜 1 井 $PI_{南}$ 为 0.529, $PI_{北}$ 为 0.471, 表明其物源为南部鲁西隆起和北部青坨子凸起混源, 并且北部青坨子凸起提供物源相对较多。

表 2 东营凹陷王 58 井区沙四上亚段沉积物物源指数 (PI)
Table 2 Provenance index of the depositions of the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation in W 58 area, Dongying depression

井号	深度 /m	$PI_{南}$	$PI_{北}$	物源判别	样品数
王斜 583	3468.80 ~ 3482.20	0.129	0.871	南部物源	23
王 126	2917.76 ~ 3017.52	0.281	0.719	南部物源	4
牛 114 斜 1	3052.00 ~ 3058.10	0.529	0.471	混源	5
王 58	3019.00 ~ 3027.00	0.696	0.304	北部源	20

利用最能够体现南北物源差异的 Mg/Mn 、 Ba/Mn 、 Al/Mg 比值, 对所选块样品进行 Q 型聚类 (图 9) 可知, 王斜 583 井所有样品全部与代表南部物源的样品聚为一类; 王 126 井 4 块样品中有 3 块样品与代表南部物源的井聚为一类, 1 块样品与代表北部物源的井聚为一类; 牛 114 斜 1 井 5 块样品中有 3 块样品与代表北部物源的样品聚为一类, 2 块样品与代表南部物源的样品聚为一类; 王 58 井 13 块样品中只有 2 块样品与代表南部物源的样品聚为一类, 其它均与代表北部物源的样品聚为一类。因此特征元素比值 Q 型聚类也说明王斜 583 与王 126 两口井物源为南部鲁西隆起, 王 58 井物源为北部青坨子凸起, 牛 114 斜 1 井物源为南北混源, 且北部青坨子凸起提供沉积物较多。

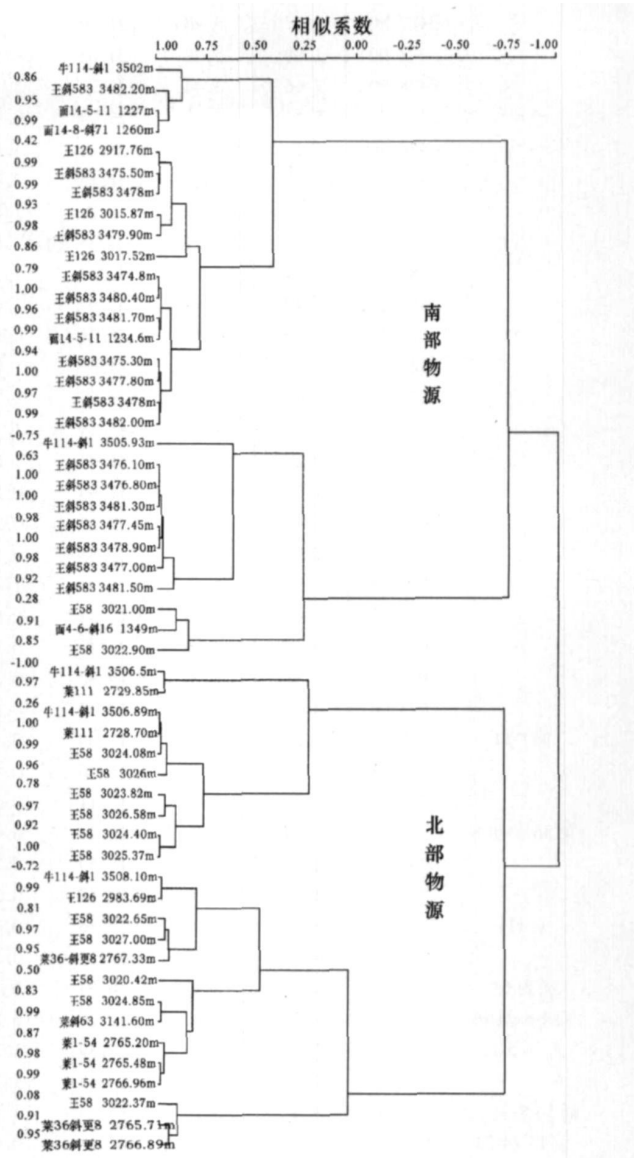


图 9 东营凹陷王 58 井区与南北物源区沙四上沉积物特征元素比值 Q 型聚类图

Fig. 9 Q-type cluster plot of ratios of characteristic elements of deposits of the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation in W 58 area and south and north provenance, Dongying depression

3 沉积学证据

南北物源的差异控制了王 58 井区砂体成因类型, 北部物源体系主要发育近岸水下扇—湖底扇沉积体系, 南部物源体系主要发育河流三角洲 (滩坝)—滑塌浊积扇沉积体系 (图 10)。由岩心观察及单井相分析可知, 牛 114 斜 1 井和王 58 井主要为湖底扇沉积, 岩性粒度较粗, 发育有含砾砂岩, 其中牛 114 斜 1

井发现少量鲕粒; 王 126 井主要为河口坝和浊积扇沉积, 岩性主要为粉砂岩, 鲕粒极其发育; 王斜 583 井主要为湖底扇沉积, 但岩性粒度细, 主要为粉砂岩, 同时也发育大量鲕粒。综合分析认为, 王 58 井和牛 114 斜 1 井较粗粒的湖底扇沉积物主要由物源较近的北

部青坨子凸起提供, 但牛 114 斜 1 井发育鲕粒说明其部分沉积物由南部物源提供; 王斜 583 井和王 126 井的细粒沉积物及鲕粒主要由南部三角洲前缘砂体或滩坝砂体再沉积形成。

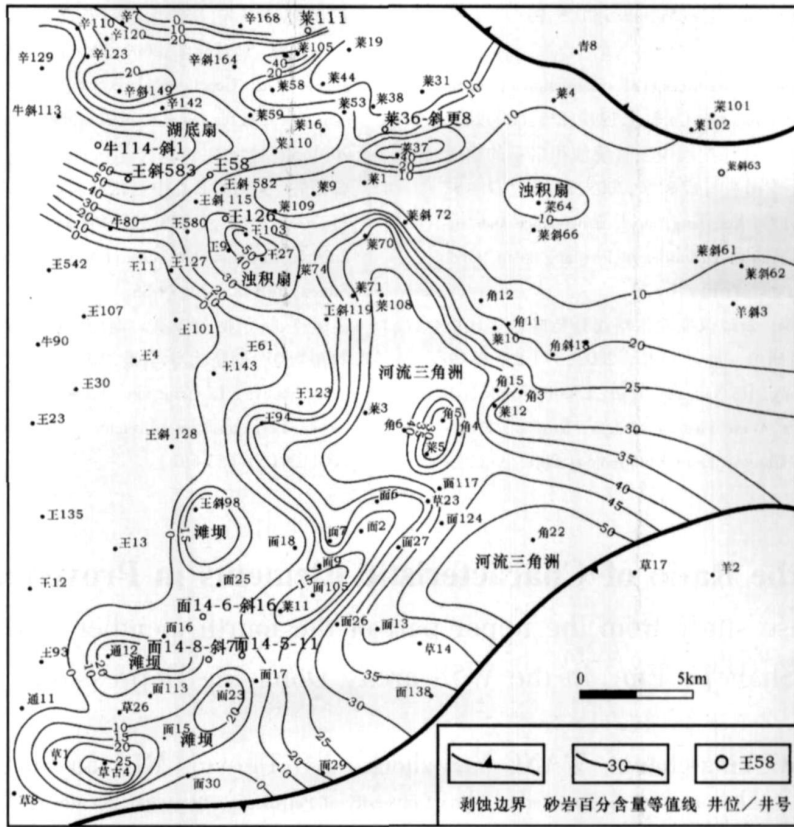


图 10 王 58 井区沙四上亚段 Cs5 砂岩百分含量及沉积体系分布图

Fig. 10 Distribution of sand content and sedimentary systems of Cs5 of the upper part of the fourth Member of the Shehejie Formation in W 58 area

4 结论

综合运用特征元素比值分布模式、物源指数、聚类分析等方法分析表明, 沙四上亚段沉积时期, 王 58 井区存在南北两大物源体系, 王 58 井及其以北地区沉积物主要来自北部物源体系, 王斜 583 和王 126 井及其以南地区主要为南部物源体系, 中部牛 114 斜 1 井附近具有南北混源的特点。

参考文献 (References)

- 1 Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 1983, 91: 611-627
- 2 Bhatia M R and Crook K A W. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1986, 92: 181-193.

- 3 Rollinson H R. Using Geochemical Data Evaluation, Presentation, Interpretation. Longan Scientific and Technical 1993
- 4 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原全新世沉积物物源研究——元素地球化学与重矿物方法比较. *沉积学报*, 1999, 17(3): 458-463 [Yang shouye, Li Congxian, Zhang Jiaqiang. Provenance study of Holocene sediments in Subei Coastal Plain: comparison between elemental geochemistry and heavy mineral methods. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999, 17(3): 458-463]
- 4 蒋富清, 李安春. 冲绳海槽南部表层沉积物地球化学特征及其物源和环境指示意义. *沉积学报*, 2002, 20(4): 680-686 [Jiang Fuqing, Li Anchun. Geochemical characteristics and their implications to provenance and environment of surface sediments from the South Okinawa Trough. *Acta Sedimentologica Sinica* 2002, 20(4): 680-686]
- 5 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原冰后期古地理演化与沉积物物源研究. *古地理学报*, 2000, 2(2): 65-72 [Yang Shouye, Li

- Congxian Zhang Jiaqi. Paleogeographic evolution of coastal plain and provenance study of postglacial sediments in North Jiangsu Province. *Journal of Paleogeography*, 2000, 2(2): 65-72]
- 6 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2ka 闽浙沿岸泥质沉积物物源分析. *沉积学报*, 2005, 23(2): 268-274 [Xiao Shangbin, Li Anchun, Jiang Fuqing, *et al*. Provenance analysis of mud along the Min-Zhe Coasts since 2 ka BP. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 268-274]
 - 7 Fralick P W and Kronberg B I. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. *Sedimentary Geology*, 1997, 113: 111-124
 - 8 陈翠华, 何彬彬, 顾雪祥, 等. 右江盆地中三叠统浊积岩系的物源和沉积构造背景分析. *大地构造与成矿学*, 2003, 27(1): 77-82 [Chen Cuihua, He Binbin, Gu Xuexiang, *et al*. Provenance and tectonic settings of the Middle Triassic Turbidites in Youjiang Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 27(1): 77-82]
 - 9 张晓晖, 李铁胜, 胡能高, 等. 新疆东准噶尔喀姆斯特晚古生代沉积记录物源和沉积作用研究. *地质科学*, 2002, 37(1): 13-26 [Zhang Xiaohui, Li Tiesheng, Hu Nengao, *et al*. Late Paleozoic sedimentary records in Kanusht Area, Eastern Junggar, Xinjiang. Provenance and facies analyses. *Chinese Journal of Geology*, 2002, 37(1): 13-26]
 - 10 赵澄林, 杨从笑, 刘孟慧. 渤海盆地早第三纪陆源碎屑岩相古地理学. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Zhao Chenglin, Yang Congxiao, Liu Menghui. *The Lithofacies Paleogeography of Paleogene Tertiary Clastic Rock in Bohai Bay Basin*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
 - 11 杨守业, 李从先, 李徐生, 等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究. *地球化学*, 2001, 30(4): 402-406 [Yang Shouye, Li Congxian, *et al*. Geochemical records of chemical weathering of the Xiaoshu Loess in the lower reaches of the Changjiang River. *Geochimica*, 2001, 30(4): 402-406]
 - 12 韩德亮. 莱州湾 E 孔中更新世末期以来的地球化学特征. *海洋学报*, 2001, 23(2): 79-85 [Han Deliang. Geochemistry of Core E in the Laizhou Bay since late stage of Middle Pleistocene. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(2): 79-85]
 - 13 王爱萍, 杨守业, 李从先. 南京地区下蜀土元素地球化学特征及物源判别. *同济大学学报*, 2001, 29(6): 657-661 [Wang Aiping, Yang Shouye, Li Congxian. Elemental geochemistry of the Nanjing Xiaoshu Loess and the provenance study. *Journal of Tongji University*, 2001, 29(6): 657-661]

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 W 58 area, Dongying Depression

CAO Ying-chang WANG Yan-zhong XU Tao-yu M I Lian-shan

(Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

Abstract Based on the ratios of Ni/C_o, V/C_o, Mg/Mn, Mn/Sr, Ba/Mn, Fe/K, Mg/Ca, Ba/Sr, Al/Mg and Al/Na, the provenance of the sandbodies of the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation in W 58 area, Dongying depression was studied by distribution pattern, provenance index and Q-type cluster. During the period of the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation, the south and north provenance systems co-exist in W 58 area. The deposits in W 58 well and its north area were provided by the north provenance system, and the deposits in WX583 and W 126 wells and their south area were provided by the south provenance system, and the deposits in the vicinity of N114-X1 well have the characteristics both of the south and north provenance. This study shows that the direction of the provenance can be determined more accurately by the use of characteristic elements ratios because the influences of hydrodynamic force and diagenesis can be effectively avoided.

Key words sandbody, characteristic element, provenance, the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation, Dongying Depression