

文章编号: 1000-0550(2011)05-0835-07

# 重矿物资料在沉积物物源分析中的应用<sup>①</sup>

## ——以涠西南凹陷古近系流三段下亚段为例

操应长<sup>1</sup> 宋玲<sup>2</sup> 王健<sup>1</sup> 李俊良<sup>3</sup> 刘明全<sup>3</sup> 方勇<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学地球资源与信息学院 山东青岛 266555; 2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司西部新区研究中心 山东东营 257000; 3. 中国海洋石油有限公司湛江分公司 广东湛江 524057)

**摘要** 重矿物资料在沉积物物源分析中被广泛的应用。采用聚类分析的数学统计方法,将重矿物资料在垂向上分出不同的沉积期次,得出表征不同母岩区的重矿物组合类型,进而在整个研究区对比划分物源体系并结合 ZTR 等值线图研究各沉积期次物源方向。由此涠西南凹陷古近系流三段下亚段可划分为四大物源体系,分别为北西物源体系、南西物源体系、北东物源体系、东部物源体系。各物源体系及物源方向与扇三角洲或冲积扇的主推进方向一致。因此,利用聚类分析方法所得的重矿物组合类型划分涠西南凹陷物源区是十分有效的。

**关键词** 重矿物 ZTR 指数 聚类分析 物源 涠西南凹陷

**第一作者简介** 操应长 男 1969 年出生 博士后 博士生导师 沉积学和层序地层学 E-mail: caoych@hdpu.edu.cn

**通讯作者** 宋玲 E-mail: songling86@yahoo.com.cn

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

重矿物自身具有稳定性,相对于其他碎屑沉积物而言受风化、搬运和成岩作用的影响较少,而来自于同一母岩区的各种重矿物间必然存在着内在联系,即同一来源的沉积物往往具有相同的重矿物组合特征。另外 ZTR 指数作为重矿物组合成熟度的一个度量,在陆源碎屑沉积盆地物源分析中也具有显著的效果<sup>[1]</sup>。前人在根据重矿物资料分析物源体系及物源方向时,多是利用重矿物含量的分布特征或 ZTR 指数来实现的<sup>[2-10]</sup>。这不但难以表征来自同一母岩区的各个重矿物间的内在联系,而且忽略了垂向上层序内部不同沉积期次的沉积物物源差异性的重要信息。本文运用聚类分析方法对重矿物资料进行处理,划分沉积物沉积期次和研究每一期次沉积物重矿物组合特征,结合 ZTR 指数分析,对涠西南凹陷古近系流三段下亚段物源体系进行了系统的探讨。

### 1 区域地质概况

涠西南凹陷位于北部湾盆地北部坳陷带的北部(图1),是典型的北断南超的陆相断陷盆地。流三段下亚段位于流沙港组沉积早期,此时涠西南凹陷的发育受控于北东东至南西西走向的1号控盆断层,沉降中心位于断层中段下降盘,整个北部坳陷为一个统一

的湖盆。流三段下亚段沉积时期沉积物供给量充足,湖盆水体范围小且水体浅,整体为陆上一滨浅湖沉积环境。在盆地周缘近物源粗碎屑物质的供应下,主要发育了以浅灰白色含砾细—粗砂岩为主的陆上冲积扇、冲积平原和扇三角洲沉积。

### 2 原理与方法

聚类分析是多元统计中的一种数字分类方法。其实质是根据样本或变量之间的相似程度或亲疏关系把它们逐步分类的方法<sup>[11,12]</sup>。从数学的角度看,聚类分析是在一个大的对称矩阵中,探索诸元素之间的相关关系的一种方法。根据研究目的和对象的不同,分为 Q 型和 R 型聚类分析。Q 型聚类分析是研究样本间的相互关系,是把不同样本中的同一变量进行比较。通过确定样本间的相似程度而对样本进行分类。R 型聚类分析是研究变量之间的相关关系,即把同一样本中的不同变量进行比较,以确定不同变量间的亲疏关系,进而对变量进行分类。

不同类型的母岩其矿物组分不同,经风化破坏后形成的风化产物具有不同的重矿物组合,因此利用重矿物恢复母岩和判别物源效果显著<sup>[5]</sup>。但不论是地质历史时期中还是现代沉积环境中形成的沉积物,往

①国家重大科技专项课题(编号:2008ZX05023-02)和教育部新世纪优秀人才支持计划(编号:NECT-06-0604)联合资助。  
收稿日期:2010-08-20;收修改稿日期:2010-10-06

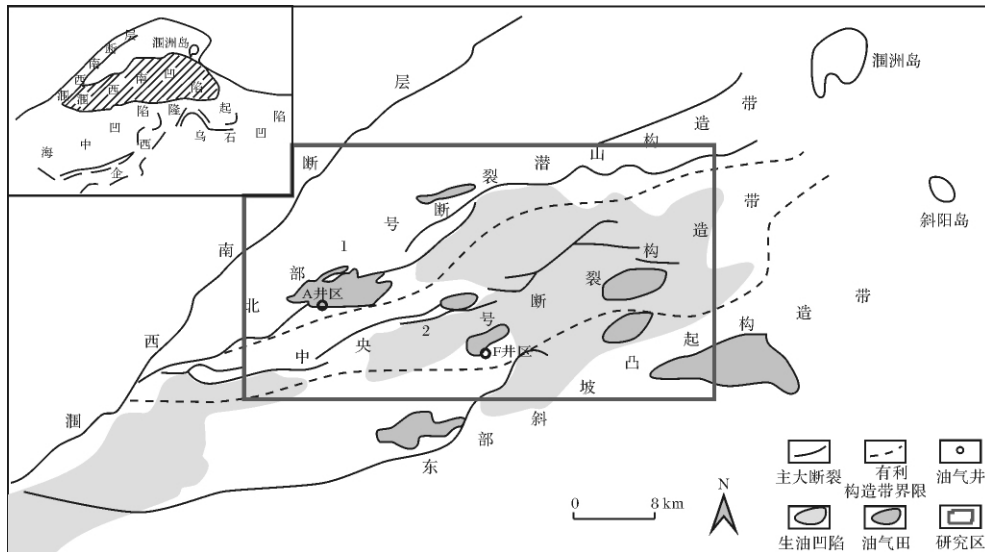


图1 北部湾盆地涠西南凹陷构造格架与研究区位置图

Fig. 1 Major structural elements in the Weixinan Depression of the Beibuwan Basin and the location of the study area

往都是多期次或多物源沉积物供给的混合。同一期次沉积的碎屑物常具有相同或相近的重矿物组合特征;而不同期次所形成的沉积物的物源方向或母岩类型不同,各个期次沉积物的重矿物组合特征可能会存在一定的差异。因此,在研究某一时期(如流三段下亚段)的沉积物物源时,首先采用Q型聚类分析方法,将垂向上特征相同或相近的样本群作为来自同一期次的沉积物区分开,每一样本群即代表了某一期次或某一母岩类型的沉积物供给。在Q型聚类分析的基础上,利用R型聚类分析将同一期次的重矿物资料进行处理,使不同类型重矿物之间的亲疏关系显现,进而获得来自不同母岩区的重矿物组合类型。将相同重矿物组合类型视作同一物源体系划分出研究区不同的物源区。在此基础上,将各重矿物组合类型所代表的各沉积期次的沉积物作为一个独立的系统,计算其ZTR指数,勾画ZTR等值线图。ZTR指数逐渐增大的方向即是碎屑岩成分成熟度变高,搬运距离变远,沉积物的供给方向。

### 3 涠西南凹陷古近系流三段下亚段物源分析

#### 3.1 重矿物组合类型及分布特征

利用上述原理及方法对涠西南凹陷古近系流三段下亚段14口井的重矿物资料进行处理,以A-4井为例进行说明。A-4井在流三段下亚段共有29个样品,主要重矿物包括:锆石、金红石、电气石、石榴石、磁铁矿、赤褐铁矿、白钛矿、锐钛矿、十字石、独居石

(表1)。对这29个样品进行Q型聚类分析得A-4井的Q型聚类分析谱图(图2)。当相关系数为-0.48时,所有样品在垂向上聚为上下两个样本群。这表明在流三段下亚段的沉积时期内,A-4井经历了两个期次的沉积物供给过程,在此分析基础上分别对这两个期次的重矿物组合类型进行判断。

分别对这两组样本群进行R型聚类分析,得到其R型聚类谱图(图2),并综合流三段下亚段内其它13口井的聚类谱图分析得到流三段下亚段的重矿物组合类型。由图2中A-4井R型聚类谱图可见,虽然A-4井流三段下亚段的样本被明显的分成两组,但是这两组样本的重矿物组合类型却一致,均为I<sub>1</sub>类(锆石+金红石+独居石+白钛矿+锐钛矿)和II<sub>1</sub>类(石榴石+磁铁矿+赤褐铁矿),表明两期沉积物供给可能来自同一方向,并且沉积时期母岩区的母岩类型没有发生明显变化。

综合分析流三段下亚段14口井的Q型及R型聚类分析图谱,认为流三段下亚段的重矿物组合类型可分为I类(岩浆岩母岩类)和II类(变质岩母岩类)两大类(表2),其中I类包括I<sub>1</sub>(锆石+金红石+独居石+白钛矿+锐钛矿)和I<sub>2</sub>(赤褐铁矿+辉石);II类包括II<sub>1</sub>(石榴石+磁铁矿+赤褐铁矿)、II<sub>2</sub>(电气石+十字石)、II<sub>3</sub>(电气石+磁铁矿+赤褐铁矿+绿泥石)和II<sub>4</sub>(电气石+帘石类+石榴石)。这些不同的重矿物组合在凹陷中具有不同的分布规律。I<sub>1</sub>类在全区均有分布,I<sub>2</sub>类仅见于E-2井,II<sub>1</sub>类分

表1 A-4井流三段下亚段重矿物百分含量表  
Table 1 Heavy minerals type and content in the lower submember of the third member of Liushagang Formation from the Well A-4

序号	深度/m	锆石/%	金红石/%	电气石/%	石榴石/%	磁铁矿/%	赤褐铁矿/%	白钛矿/%	锐钛矿/%	十字石/%	独居石/%
1	2096	5	2	3.8	0.2	18.3	65.6	3.4	0.5	0.2	0.9
2	2100	6	2	3.4	0.2	16.4	66.9	3.4	0.4	0.2	1.2
3	2104	4.6	1.4	13.3	0	13.5	57.8	7.5	0.5	0.2	1.2
4	2108	14.7	2.5	16.4	0.3	16.1	32	12.5	0.8	0.3	4.2
5	2112	20	4.5	14.5	0	14.5	30.6	11	0.6	0.3	3.2
6	2116	13.1	2.2	9.6	1.6	24.4	39.7	6.4	0.6	0.3	1.9
7	2122	6.5	1.4	8.9	17.5	15.5	40.9	6.2	0.3	0.3	1
8	2126	12.7	2.4	15.7	22.6	7.5	28.3	7.2	0.9	0.3	0.9
9	2130	3.8	0.8	8.4	13	16.4	50	5.3	0.4	0.4	0.4
10	2134	5.9	1.1	8.3	20.9	8.8	49.6	4.4	0.3	0.3	0.3
11	2138	10.2	1.6	12.2	10.9	7.4	48.5	5.8	0.2	2.1	0.5
12	2142	23.9	0.7	8	2	17.3	38.2	7	1.3	0.7	0.7
13	2146	22.5	2.1	8.8	3.1	11.4	43.9	5.4	1.3	0.5	0.8
14	2146	39.9	3.3	6.2	21.7	8.7	8.7	7.6	1.1	1.4	1.1
15	2148	4.5	2.1	5.5	77.4	2.1	5.8	1.4	0.3	1	0
16	2150	30.3	6.8	20.1	18.9	6.1	8.6	6.1	2.1	0.8	0.3
17	2152	28.4	5.3	29.9	22.6	3.2	2.4	6.3	0.6	0.9	0.3
18	2154	44.3	5	20.5	15.3	3.2	4.2	4.6	1.2	1.2	0.4
19	2156	3.8	3.4	11.8	66.8	5.7	3.8	4	0.4	0.2	0.2
20	2158	3.3	1	2.7	58.4	15.8	15.4	2.1	0.4	0.4	0
21	2158	2.8	0.8	3	69.9	12.3	9.8	1.3	0.2	0	0
22	2160	2.6	0.7	1.7	78.4	7.1	6.7	2.4	0.2	0	0.2
23	2162	5.7	2.5	6.8	72.1	5.7	3.9	2.1	0.6	0.2	0
24	2162	1.7	1.9	6.5	81.8	3	1.2	3.5	0.3	0	0
25	2164	3.7	3.6	9.6	59.7	9.6	8.4	4.3	0.5	0.1	0.2
26	2168	2.8	4	4.2	75.7	6.8	3.7	1.6	0.7	0.2	0.2
27	2176	3.3	3.3	4.4	55.4	23.1	6.9	2.5	1	0.2	0
28	2194	6.1	3.2	8.8	48.2	14.3	12.8	4.7	1.2	0.2	0.2
29	2200	2.4	0.9	3.5	71.7	13	6.5	0.9	0.2	0.6	0.2

布于A井区、C-1井、G-1井和J-1井区,Ⅱ<sub>2</sub>类分布于A井区,Ⅱ<sub>3</sub>类分布于F井区,Ⅱ<sub>4</sub>类仅见于G-1井。根据重矿物组合类型在平面上的分布特征,将流三段下亚段分为①、②、③和④四个区域(图3)。①区重矿物组合以I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>2</sub>类为主,②区重矿物组合以I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>3</sub>类为主,③区重矿物组合以I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>4</sub>类为主,④区重矿物组合以I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>1</sub>为主。表明这四个区域的沉积物具有不同的来源。

通过分析①区内重矿物组合类型发现,虽然主要有I<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>三种类型,但是Ⅱ<sub>2</sub>类仅分布于A井区,在C-1井不发育,而I<sub>1</sub>和Ⅱ<sub>1</sub>类在A井区和C-1井均有分布。A井区所有井的样品基本都可以在垂

向上分成上下两个样本群,其重矿物组合类型分别为I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>1</sub>型和I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>2</sub>型,表明此处的沉积物物源复杂。C-1井的重矿物组合类型为I<sub>1</sub>+Ⅱ<sub>1</sub>型,与A井区的两个样本群之一相同。因此,①区内存在两个小的物源体系,应分别计算两种重矿物组合的ZTR值并绘制相应的ZTR等值线图。②区、③区和④区三个区域内的不同井不同期次的重矿物组合特征基本一致,表明各个母岩区母岩性质变化不大,沉积物供给方向单一。

### 3.2 ZTR指数特征及物源方向分析

通过上述Q型及R型聚类分析,分别对四个区域内的ZTR曲线进行了绘制。①区内的ZTR值变化

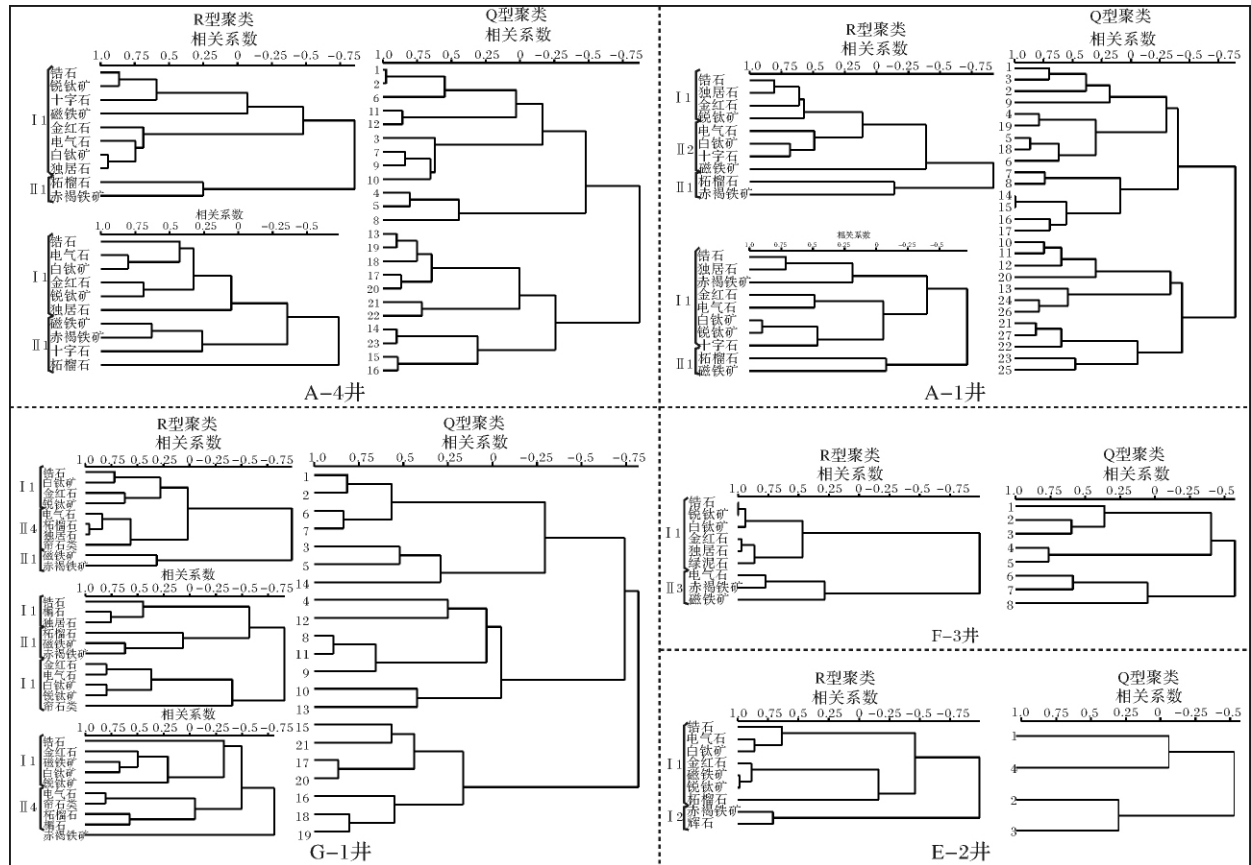


图 2 涪西南凹陷古近系流三段下亚段重矿物 Q 型聚类和 R 型聚类谱图

Fig. 2 Q- and R-type cluster plots of the heavy minerals identified in the Paleogene lower submember of the third member of the Liushagang Formation in the Weixinan Depression

复杂(图 4)重矿物组合类型为  $I_1 + II_1$  型和  $I_1 + II_1 + II_2$  型的 ZTR 曲线变化特征具有明显的区别。重矿物组合类型为  $I_1 + II_1$  型的 ZTR 值向东南方向逐渐变大;重矿物组合类型为  $I_1 + II_1 + II_2$  型的 ZTR 值向南西方向逐渐变大。因此,①区 A 井区存在南东和南西两个沉积物供给方向。②区、③区及④区的变化趋势较为简单,均为一个增大的方向,表明这三个区内的物源供给方向仅有一个。

值得注意的是,位于盆地中部的 D-2 井的重矿物组合为  $I_1$ 、 $II_1$  和  $II_3$ ,既有①区的重矿物组合类型,又有②区的重矿物组合类型,表明 D-2 井区流三段下亚段的沉积物为混源沉积,并且从 ZTR 等值线图可以看出,这口井的 ZTR 值比较接近 C-1 井的 ZTR 值,并且由 C-1 井向 D-2 井增大,因此,虽然 D-2 井流三段下亚段的沉积物为混源,但主要应来自①区。

### 3.3 沉积学证据

由流三段下亚段砂砾岩百分含量等值线图及沉积相带分析表明,北西物源体系(①区)的扇三角洲砂体展布主要有两个方向,即向南及向东南方向,与由重矿物组合类型在垂向上分出的两个物源体系及其 ZTR 值增大方向相一致;南西物源体系(②区)的扇三角洲砂体主要由 F 井区向北北东方向展布,其主推进方向与由重矿物组合类型及 ZTR 指数所判断的南西方向的主要物源一致;北东物源体系(③区)的冲积扇砂体由北向南展布,其主推进方向对应于由重矿物组合类型及 ZTR 指数所判断的由 G-1 井向南推进的主要物源方向;东部物源体系(④区)的扇三角洲砂体主要由东向西展布,其主推进方向对应于由重矿物组合类型及 ZTR 指数所判断的由东向西的方向(图 5)。综上所述,利用重矿物组合类型及 ZTR 值相结合的方法对涪西南凹陷流三段下亚段物源区的划分及物源方向的判断与该亚段砂体展布及沉积相带的分布特征相吻合。

表 2 流三段下亚段重矿物组合类型及分布

Table 2 Suite and distribution of heavy minerals in the lower submember of the third member of the Liushagang Formation

类	亚类	重矿物组成	母岩类型	分布地区
I 类	I <sub>1</sub>	锆石 + 独居石 + 金红石 + 白钛矿 + 锐钛矿	中基性、酸性岩浆岩	分布于全区
	I <sub>2</sub>	赤褐铁矿 + 辉石	中基性岩浆岩	E-2 井
II 类	II <sub>1</sub>	石榴石 + 磁铁矿 + 赤褐铁矿	变质岩	A 井区, C-1 井, G-1 井, J-1 井
	II <sub>2</sub>	电气石 + 十字石	变质岩	A 井区
F 井区	II <sub>3</sub>	电气石 + 磁铁矿 + 赤褐铁矿	绿泥石	变质岩
	II <sub>4</sub>	电气石 + 帘石类 + 石榴石	变质岩	G-1 井

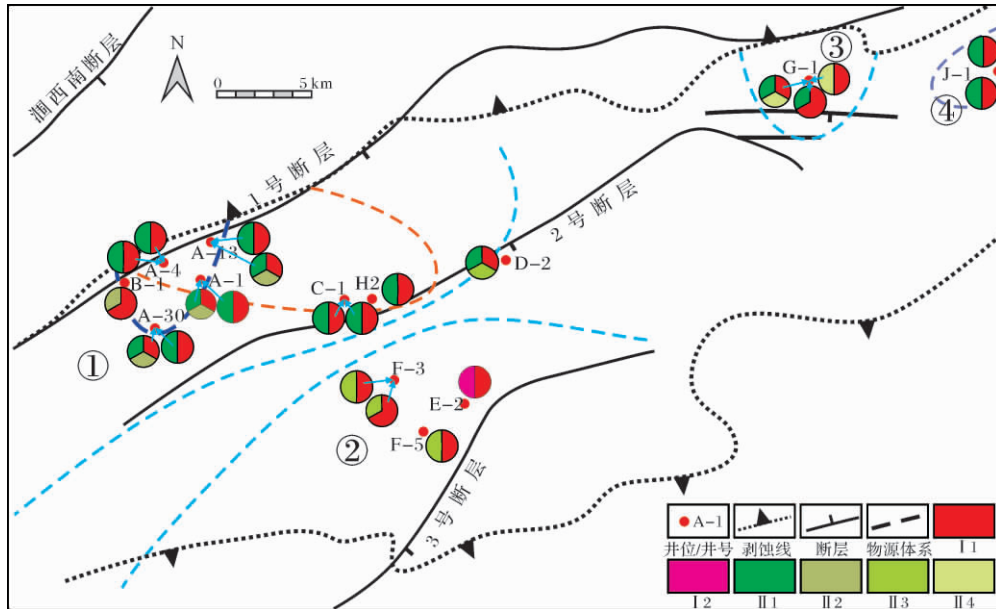


图 3 湘西南凹陷流三段下亚段重矿物组合类型平面分布特征图

Fig. 3 The distribution of different heavy mineral suites in the lower submember of the third member of the Liushagang Formation in Weixinan Depression

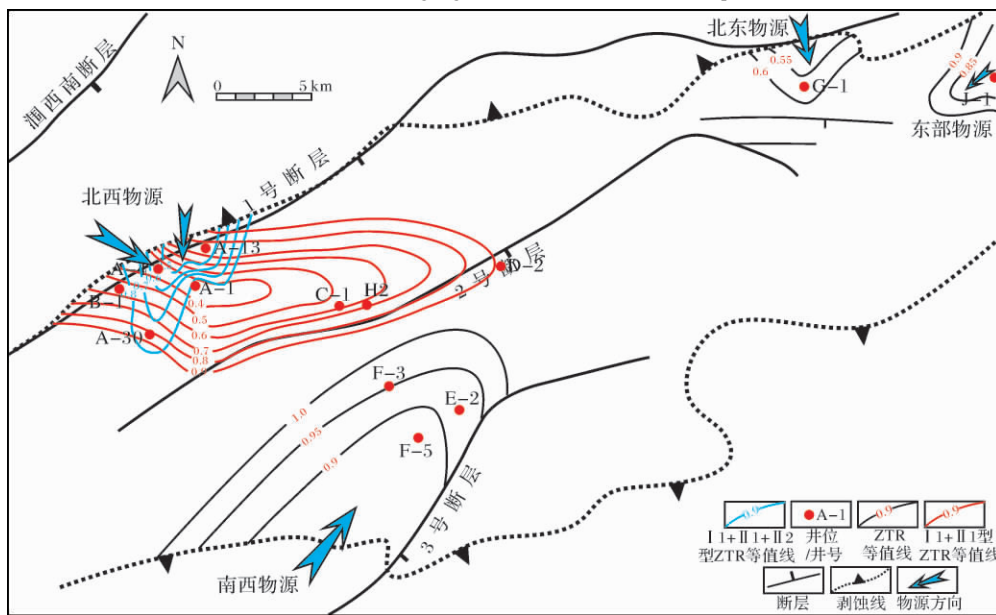


图 4 湘西南凹陷流三段下亚段 ZTR 等值线图

Fig. 4 ZTR isovalue line in the lower submember of the third member of the Liushagang Formation in the Weixinan Depression

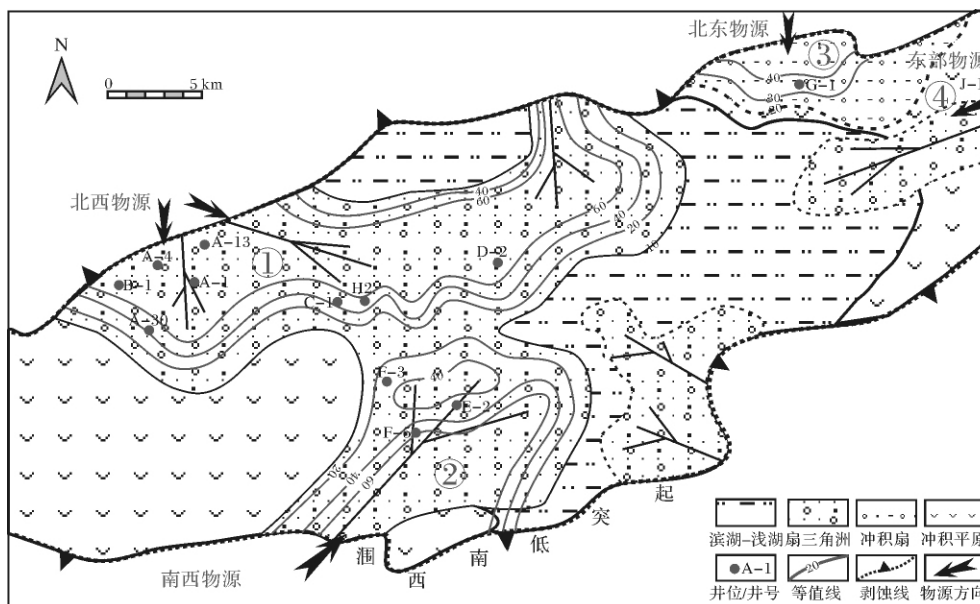


图5 涇西南凹陷古近系流三段下亚段砂砾岩百分含量等值线及其沉积相平面展布特征

Fig. 5 The isoline of glutenite content and distribution of different facies in the Paleogene lower submember of the third member of the Liushagang Formation in the Weixinan Depression

另外,位于盆地中部的D-2井在流三段下亚段沉积时期的主要沉积相类型为扇三角洲相。由砂砾岩百分含量等值线图结合沉积相类型分析,D-2井在流三段下亚段沉积时期为混源沉积,既有来自①区北西物源体系的沉积物,又包含来自②区南西物源体系的沉积物。其与上述D-2井重矿物组合类型所得此处为混源沉积的研究结果相一致。

#### 4 结论

本文利用涇西南凹陷流三段下亚段的重矿物资料,采用Q型聚类分析方法将样本在垂向上分出不同沉积期次,分别做出各沉积期次样本群的R型聚类谱系图,得出来自不同母岩区的重矿物组合类型,进而在整个研究区对比划分物源体系。以各重矿物组合类型所代表的各沉积期次沉积物作为独立的系统计算其ZTR指数,勾画ZTR等值线图,判断各沉积期次物源供给的具体方向。研究表明,涇西南凹陷古近系流三段下亚段共有四大物源体系,分别为北西物源体系(①区),主要物源方向为北西方向;南西物源体系(②区),主要物源方向为南西方向;北东物源体系(③区),主要物源方向由G-1井向南推进;东部物源体系(④区),主要物源方向由东向西。各物源体系及物源方向与扇三角洲或冲积扇的主推进方向一致。因此,利用聚类分析对涇西南凹陷物源区划分的

研究方法可以较好的应用于陆相断陷湖盆的沉积物物源分析中。

#### 参考文献(References)

- 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 46-54 [Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 46-54]
- 张新建, 张剑君. 富县探区延长组重矿物组合特征及地质意义[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1): 49-52 [Zhang Xinjian, Zhang Jianjun. Heavy mineral characteristics and geologic significance of the Yanchang Formation in the Fuxian exploration area, Ordos Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(1): 49-52]
- 王洪伟, 杨建国, 林东成. 汤原断陷古近纪砂岩重矿物组合与物源分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(3): 39-46 [Wang Hongwei, Yang Jianguo, Lin Dongcheng. Heavy mineral combination and source analysis in the Paleogene sandstones in the Tangyuan Rift [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(3): 39-46]
- 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[J]. 沉积学报, 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 Formation in the W58 area, Dongying Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(2): 230-238]
- 马锋, 刘立, 闫华. 统计分析在松辽盆地西部地层母岩类型研究中的应用[J]. 世界地质, 2003, 22(4): 331-338 [Ma Feng, Liu Li, Yan Hua. Application of statistical analysis in provenance analysis

- in the strata in West Songliao Basin [J]. *World Geology*, 2003, 22(4): 331-338]
- 6 施琰,罗顺社,韩永林,等. 鄂尔多斯盆地沿河湾地区长6油层组物源分析[J]. *石油地质与工程*, 2007, 21(6): 11-15 [Shi Yan, Lou Shunshu, Han Yonglin, *et al.* Source analysis of the Chang-6 oil-bearing strata in the Yanchang Formation, Yanhewan area, Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2007, 21(6): 11-15]
  - 7 孙小霞,李勇,丘东洲,等. 黄骅坳陷新近系馆陶组重矿物特征及物源区意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2006, 26(3): 61-66 [Sun Xiaoxia, Li Yong, Qiu Dongzhou, *et al.* The heavy minerals and provenances of the Neogene Guantao Formation in the Huanghua depression [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2006, 26(3): 61-66]
  - 8 Lemons David R. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine grained lacustrine deltas along the eastern margin of late Pleistocene lake Bonville, northern Utah and southern Idaho [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(4): 635-665
  - 9 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[J]. *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 [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 680-686]
  - 10 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[J]. *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 Coast since 2 kaBP [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 268-274]
  - 11 韩金炎. 数学地质[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987 [Han Jinyan. *Mathematical Geology* [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1987]
  - 12 赵鹏大. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1983 [Zhao Pengda. *Deposit Statistical Prediction* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983]

## Application of Heavy Mineral Data in the Analysis of Sediment Source:

A case study in the Paleogene lower submember of the third member of the Liushagang Formation, Weixinan Depression

CAO Ying-chang<sup>1</sup> SONG Ling<sup>2</sup> WANG Jian<sup>1</sup> LI Jun-liang<sup>3</sup> LIU Ming-qian<sup>3</sup> FANG Yong<sup>3</sup>

(1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555;

2. Research Center of Western New Development Region, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000;

3. Research Institute of Zhanjiang Branch Company, CNOOC, Zhanjiang Guangdong 524057)

**Abstract** Heavy mineral data are widely used in the analysis of sediment source. Source rocks of different depositional stages and different source areas can be identified based on heavy mineral suites. In this study using Q-type clustering analysis, the sample group with the same or similar features in the vertical profile is identified as sediments of the same depositional stages, so each sample group is representative of a certain depositional stage or source rock. On the basis of Q-type clustering analysis, using R-type clustering analysis, the differences among each kind of heavy mineral are available in the same depositional stage, and different heavy mineral suites are defined. The same heavy mineral suite is considered that it comes from the same source rock, and the different heavy mineral suites are used to recognize different source areas. These, the sediments with features of the same depositional stage and the same heavy mineral suite are as an independent system. Coupled with the independent system's ZTR maps, allow robust identification of specific directions of sediment source in each depositional stage. The integrated data set shows that there are four distinct sediment sources in the submember in the study area. These are the northwest source, the southwest source, the northeast source, and the east source. The directions of different sediment sources identified are in accordance with the main building directions of fans delta or alluvial fans. Using heavy mineral suites generated from cluster analysis to identify source area in the Weixinan Depression is quite effective.

**Key words** heavy mineral; ZTR maturity index; cluster analysis; provenance; Weixinan Depression