

文章编号: 1009-3850(2006)03-0061-06

## 黄骅拗陷新近系馆陶组重矿物特征及物源区意义

孙小霞<sup>1,2</sup>, 李 勇<sup>1</sup>, 丘东洲<sup>3</sup>, 肖敦清<sup>4</sup>,

武站国<sup>4</sup>, 张连雪<sup>4</sup>, 陈 蓉<sup>1</sup>, 赵 瞻<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学 油气藏开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 西华师范大学 国土资源学院, 四川 南充 637002; 3. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 4. 大港油田, 天津 300280)

**摘要:** 黄骅拗陷馆陶组发育一套以辫状河沉积为主的沉积体系, 储集物性较好, 是研究区内的重要储油层。整个黄骅拗陷新近系物源研究还处于空白状态。本文重点利用统计学中的 Q 型聚类及 R 型聚类的方法对重矿物含量特征进行分析, 划分出不同的重矿物组合区及相应的母岩类型。研究结果表明: 根据重矿物含量特征可划分出 A—D 4 个不同的重矿物组合区, 其中 A、B、C 区的母岩类型与周围燕山、沧县、埕宁 3 个古隆起的岩石类型能很好对应, 重矿物稳定系数所揭示的物源方向也与 3 个古隆起位置相吻合; D 区与前 3 个分异性很大, 且重矿物稳定系数极高, 应为远源搬运的沉积物, 远于周围的古隆起, 可能与古黄河沉积物有关。

**关键词:** 黄骅拗陷; 新近系; 重矿物; 物源; 渤海湾盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

### 1 引言

黄骅拗陷为渤海湾盆地的一个次一级拗陷(图 1), 属于发育在大陆内部的裂隙-拗陷盆地, 古近纪以不均一断陷作用为主, 新近纪则进入拗陷期, 断陷期以生长性拉张断层为主, 拗陷期以重力断层为主。拗陷东西两侧被埕宁隆起和沧县隆起所夹持, 北端与燕山褶皱带相连接, 东边以海中隆起与渤中拗陷相隔, 总体构造地貌特征为三面高, 中间低, 具“大隆大凹”的古地貌形态。发育在新近系底部馆陶组厚度为 200~400m 左右, 岩性粗, 旋回性强, 总体上呈现向上粗—细—粗的旋回特征, 剖面中砂岩百分含量高(高达 60%~80%), 砂层厚度大(可达 80m)。馆陶组发育一套以辫状河沉积为主的沉积

体系, 是研究区内的许多油田的重要储油层<sup>[1,2]</sup>。

在含油气盆地分析中, 物源研究是一项必不可少的工作。对沉积盆地物源区系统的正确分析, 将有助于对沉积体系及古水系的准确恢复和对远景区油气储层的准确预测<sup>[3]</sup>。重矿物分析为盆地物源研究最有效的方法之一。研究区内有丰富的重矿物资料, 为利用重矿物特征进行物源区判断及古水流体系的分析提供了有利的基础。

重矿物指碎屑岩中密度大于  $2.86\text{g}/\text{cm}^3$  的陆源碎屑矿物。通过重矿物的矿物学研究及统计学分析, 可以确定有成因联系的重矿物组合, 并借此判断物源区的母岩类型; 应用重矿物或重矿物组合的稳定性, 推测沉积物的搬运距离; 利用主要重矿物、重矿物组合及不同稳定性的重矿物空间分布特征, 确

收稿日期: 2005-12-18; 修改日期: 2006-04-11

第一作者简介: 孙小霞, 女, 1984年生, 硕士生, 第四纪地质学专业。

资助项目: 四川省重点学科建设项目(编号 SZD0408)和大港油田重点科技项目资助。

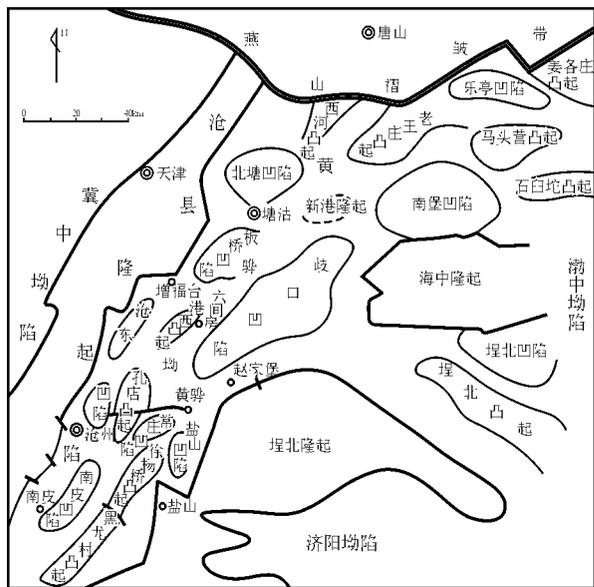


图1 黄骅坳陷构造单元图<sup>[1]</sup>

Fig. 1 Division of the tectonic units in the Huanghua depression (after Wang Defa et al., 1987)

定物源方向<sup>[3,4,7]</sup>。

## 2 重矿物特征

本次研究统计了研究区 32 口井的 200 个样品, 按相应井位所处的构造单元或地名进行分析整理(表 1), 并绘制了重矿物丰度对比图(图 2)。重矿物的研究工作采用了实体显微镜观察、电子探针及扫描电镜等方法, 并对矿物特征描述、测试、定名。对 32 口井的主要重矿物进行了 Q 型聚类, 在此基础上划分了重矿物组合区, 确定各重矿物分区的母岩类型, 并依据重矿物稳定系数特征判断物源方向。

### 2.1 重矿物类型及含量分布

馆陶组重矿物主要有锆石、金红石、电气石、榍石、石榴子石、辉石、角闪石、绿帘石、黑云母、绿泥石、磁铁矿、褐铁矿、十字石等。其中最主要的重矿物为磁铁矿(11.95%~41.34%)、石榴子石(7.82%~49.81%)、角闪石(1.9%~40.24%)、绿帘石(5.4%~51.8%), 占到总体的 85% 以上; 其次为锆石(1.8%~20.27%)、褐铁矿(0.5%~7.96%)、电气石(0.5%~2.74%)、黑云母(0.3%~4.81%)和榍石(0.35%~2.95%)。

在平面分布上, 重矿物含量明显表现出不同的特征(图 2): 北塘凹陷及板桥凹陷地区以磁铁矿含量明显占优势, 其次为绿帘石、石榴子石、褐铁矿、锆石; 沈青庄地区则变为角闪石含量最高, 其次为石榴

表 1 馆陶组重矿物含量( $w_B/\%$ )统计表

Table 1 Contents of the heavy minerals in the Guangtao Formation ( $w_B/\%$ )

地点	北塘凹陷	板桥凹陷	沈青庄	孔店	南大港	羊二庄
锆石	3.67	4.71	1.8	10.1	20.27	4.2
金红石	0	0.33	0	1.15	0.39	2.4
电气石	1.77	0.5	0.53	1.2	0.75	2.74
榍石	3.79	1.48	1.31	3	0.00	1.5
石榴子石	7.82	17.4	27.06	45.4	57	18.65
辉石	0.4	0.2	0.93	0	0.00	0
角闪石	3.46	2.99	40.24	4.2	3.00	1.9
绿帘石	23	11.04	10.92	5.15	4.5	51.8
黑云母	1.03	0.27	1.75	0.5	0.30	0.45
绿泥石	0.18	0.2	0.25	2	0.00	0.4
磁铁矿	41.34	52.11	16.44	8.45	2.92	9.95
褐铁矿	7.96	1.54	0.7	4.25	7.03	4.55
十字石	0	0.2	0	0.3	0.57	0.6
硬绿泥石	0.1	0.2	0.2	2.6	0.4	3.5

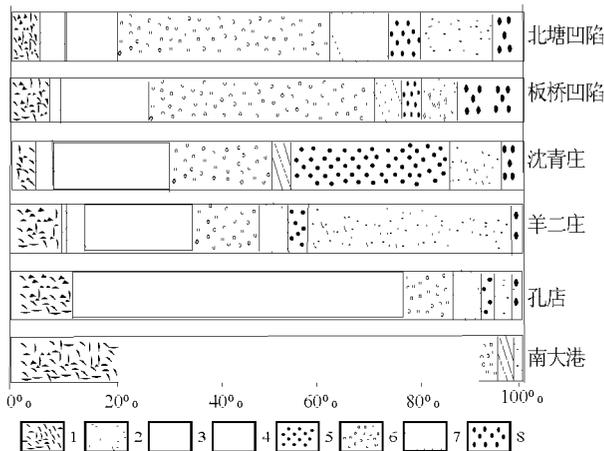


图 2 黄骅坳陷重矿物含量对比图

1. 锆石-电气石-金红石; 2. 绿帘石; 3. 榍石; 4. 石榴子石; 5. 角闪石; 6. 磁铁矿; 7. 褐铁矿; 8. 其它

Fig. 2 Comparison of the heavy mineral contents in different parts of the Huanghua depression

1= zircon-toumaline-rutile (ZTR); 2= epidote; 3= titanite; 4= garnet; 5 = amphibole; 6 = magnetite; 7 = limonite; 8= others

子石、磁铁矿、绿帘石、锆石; 羊二庄等埕宁隆起的西缘地区, 其重矿物以绿帘石含量明显占优势, 其次为石榴子石、磁铁矿、褐铁矿、锆石、电气石; 孔店地区以石榴子石含量明显占优势, 其次为锆石、磁铁矿, 角闪石及绿帘石等不稳定重矿物的含量极低; 而南

大港地区与孔店地区相似,但重矿物的稳定系数更高,都为较稳定的重矿物类型。

### 2.2 重矿物组合分区

在进行重矿物组合分区时,运用了Q型聚类分析进行辅助,通过确定样本间的相似程度而对样本进行分类<sup>[9]</sup>。

Q型聚类可以显示聚类过程,可以看出各分区之间的相关性,从而比较客观地划分出矿物组合分区<sup>[5,6]</sup>。在确定各地区的重矿物组合类型时,运用了多元统计中的因子分析法。它用少数几个因子,去描述许多因素之间的关系,即将相互之间关系比较密切的几个变量归在同一个类别之中,每一类变量成为一个因子。运用因子分析的方法来研究重矿物的组合关系是比较客观的方法<sup>[7,8]</sup>。

通过聚类分析图,可以看到在相似性系数为7左右,明显分为4种类型(图3),同时结合重矿物含量分布,可以划分出4个类型的重矿物组合区(图4),并运用因子分析的方法确定各区的重矿物组合类型。

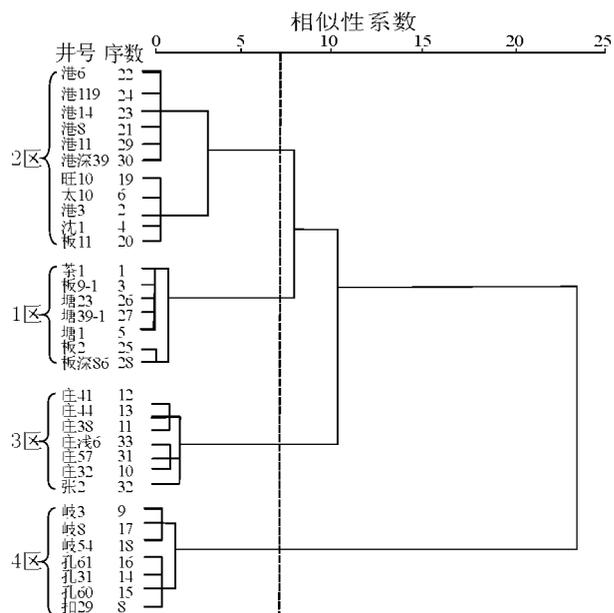


图3 重矿物Q型聚类谱系图

Fig.3 Hierarchy of the Q-mode cluster analysis of the heavy minerals

#### 1. 北沉积区(A区)重矿物组合及母岩类型

该区主要包括北塘凹陷、塘沽及板桥凹陷等地区,以板11井为界与B区分隔。重矿物以磁铁矿、绿帘石、石榴子石含量为最高,三者含量超过80%,另外角闪石、褐铁矿、榍石、电气石含量相对较高。通过因子分析,可确定该区的重矿物组合主要有三类:

磁铁矿-角闪石-辉石、绿帘石-石榴子石、榍石-电气石-黑云母。第一种类型组合反映的母岩为中基性岩浆岩,第二种类型组合反映的母岩为变质岩,而第三种类型组合的母岩则为酸性岩浆岩。因此该地区的母岩为混合型,主要为基性、中基性岩浆岩,其次为变质岩及酸性岩浆岩。

#### 2. 西北沉积区(B区)重矿物组合及母岩类型

该区包括沈青庄、北大港等地区,重矿物以角闪石、石榴子石、磁铁矿、绿帘石为主,其次为锆石、电气石、黑云母、榍石及绿泥石。根据因子分析的方法,可以确定该地区的重矿物组合为角闪石-榍石-云母、石榴子石-锆石-电气石、磁铁矿-绿帘石。第一种类型的重矿物组合是该地区的主要类型,反映的母岩类型为酸性岩浆岩;第二种类型组合的母岩为沉积岩;第三种类型组合的母岩为中基性岩浆岩。因此该地区的主要母岩类型为酸性岩浆岩,次要母岩为沉积岩与中基性岩浆岩。

#### 3. 东南沉积区(C区)重矿物组合及母岩类型

该区主要为羊二庄地区,可向北延伸至后唐堡、张巨河地区,以庄32井、庄26、庄44、庄81井等为代表,重矿物以绿帘石含量最高为特征(35%~50%),其次为石榴子石、磁铁矿、锆石、硬绿泥石,总含量超过85%。另外角闪石、电气石、榍石含量也较高。运用因子分析得出该地区的主要因子的重矿物组合类型为绿帘石-石榴子石-硬绿泥石,其次为锆石-电气石-金红石、磁铁矿-角闪石-榍石。反映的主要母岩为浅变质及变质岩,次要母岩为沉积岩与酸性岩浆岩。

#### 4. 西南沉积区(D区)重矿物组合及母岩类型

该区范围较大,包括孔店、黄骅、南大港及岐口凹陷西南部,重矿物以石榴子石含量最高为特征,其次为锆石、磁铁矿、绿帘石、角闪石,不稳定矿物如角闪石等含量很小。运用因子分析法,确定该地区的重矿物组合为石榴子-绿帘石-角闪石、磁铁矿-锆石-黑云母。第一种类型的重矿物组合反映的母岩可能变质岩,第二种类型为酸性火山岩。因此该地区的主要母岩类型为变质岩,其次为酸性火山岩。

### 2.3 重矿物稳定系数特征

重矿物稳定系数是指重矿物中稳定重矿物的含量,最常用的为ZTR指数,即极稳定矿物锆石+金红石+电气石的百分含量。根据重矿物的稳定系数可大致确定其搬运方向及搬运距离,从而判断物源方向。从ZTR等值线图来看,前3个区稳定系数都较低,一般为1~5,应该近源沉积的产物。馆陶组

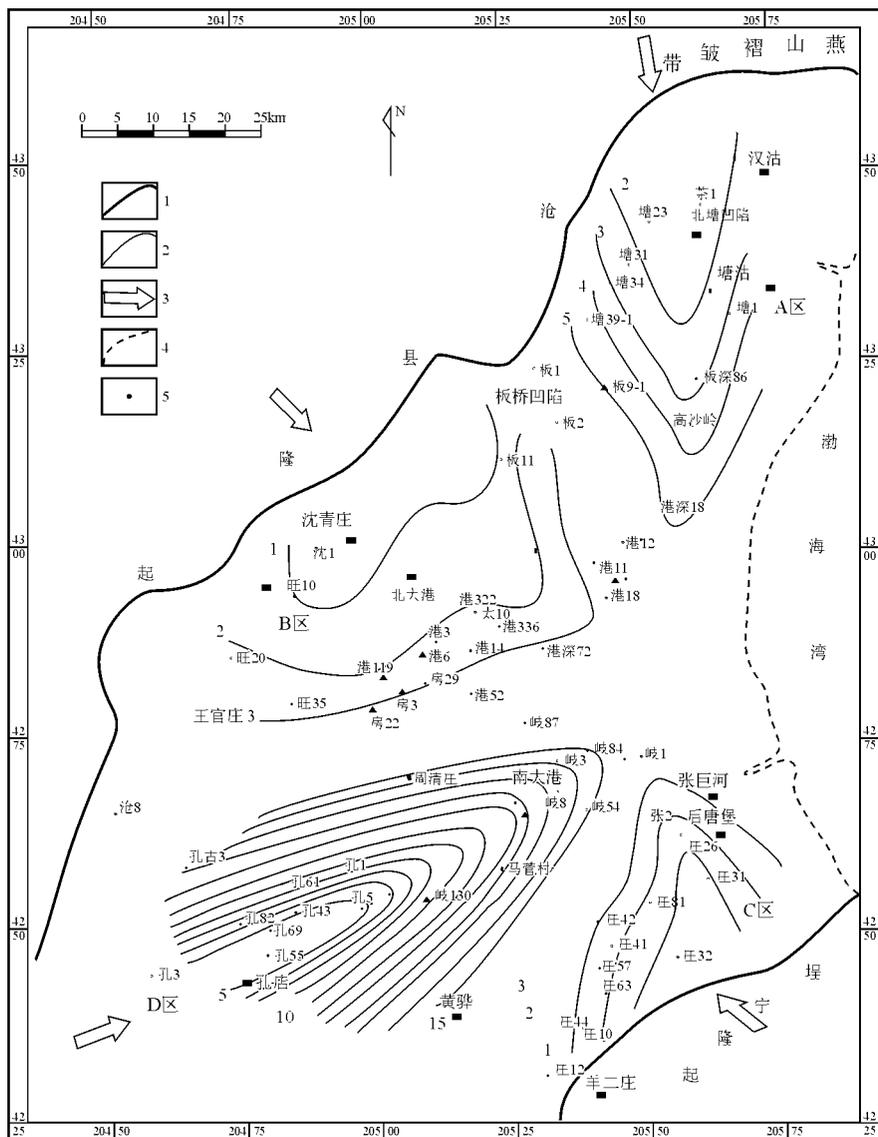


图4 重矿物ZTR等值线图

1. 盆地界线; 2. 海陆界线; 3. 物源方向; 4. 等值线; 5. 井位及井名

Fig. 4 ZTR isogram for the heavy minerals

1= basin boundary; 2= terrestrial-marine boundary; 3= direction of sediment supply; 4= isoline; 5= well site and its name

砂岩多为岩屑长石砂岩或长石岩屑砂岩。岩石的这些特征也表明沉积区离陆源剥蚀区近, 搬运距离短, 沉积速率快。A区重矿物稳定系数较低(2~4), 同时由北向南逐渐增加, 其物源应该来自北边; 而B区, 沿沈青庄—北大港一线由向西向东方重矿物稳定系数逐渐增加; C区稳定系数也不大(1~3), 稳定性由西南向东北增加; 而D区与其它区域相比, 重矿物稳定系数明显高于其他地区(5~15), 沿孔店—南大港一线由西南向东北方向增加, 其物源方向为西南方向。此条路线的沉积物搬运距离很远, 所以重矿物稳定系数明显高于其它地区。

### 3 物源区

根据以上分析, 可以初步判定馆陶组沉积期有4个相对独立的物源区, 其物源方向分别为北、西北、东南及西南。而黄骅拗陷周围古隆起分别为燕山褶皱带、沧县隆起、埕宁隆起及海中隆起(表2)。其中前3个古隆起的母岩类型与所划定的A、B、C重矿物组合区所判定的母岩类型有着较好的对应关系; 而海中隆起主要为前寒武纪的花岗岩, 与前面所划定的4个重矿物组合区的母岩类型不能很好对应, 并且在馆陶组沉积期, 海中隆起西南部的歧口凹陷为开阔湖区, 碎屑物质供应少, 所以海中隆起物源

表 2 古隆起母岩与重矿物分区母岩类型的对应关系

Table 2 Correlation between the parent rocks on the paleouplifts and those of the heavy mineral associations

A区—燕山褶皱带	B区—沧县隆起	C区—埕宁隆起	D区—海中隆起
中基性岩浆岩—太古宙岩浆岩, 新生代玄武岩	沉积岩—古生代灰岩	变质岩—太古宙泰山群浅变质及变质岩	前寒武纪花岗岩为主
高级变质岩—太古宙粒变岩相高级变质岩, 中生代硬绿泥石板岩、千枚岩、片岩	酸性岩浆岩—中生代花岗岩	沉积岩—古生代灰岩	酸、中基性喷出岩
酸性岩浆岩—中生代花岗岩	基性岩浆岩—新生代玄武岩	酸性岩浆岩—中生代花岗岩	片岩、千枚岩、砂岩、泥岩及碳酸盐岩

不明显。

D区的主要母岩类型为中级变质岩, 次要母岩为酸性火山岩, 其物源方向为西南方向与拗陷西南方向的沧县隆起的母岩类型不能很好对应, 而且与其他3个地区分异性很大(图2), 重矿物稳定系数极高, 所以它的物源区不应该来自沧县隆起带, 而可能来自更远的一未知物源区。

因此在馆陶组沉积期, 研究区主要受上述4个物源区控制。A区所对应的物源区为燕山褶皱带地区, 其影响范围较广, 可到达板桥凹陷北部地区, 以板11井为界与B区相分隔; B区对应的为沧县隆起西北部, 影响的地区为北大港地区, B区为埕宁隆起提供物源, 相对前两个物源区, 该地区影响较弱, 其影响范围也较小, 主要为羊二庄及后唐堡地区; 而D区对应的物源区则为一未知物源区, 其距离应该远于沧县隆起带, 影响范围包括为沧东凹陷、南大港及歧口凹陷西南部, 为黄骅拗陷一重要物源区。

### 4 古水系

结合物源区的分析, 可以初步推断该地区在馆陶组沉积期存在4个相对独立的古水流体系, 分别为受燕山褶皱带控制的汉沽-塘沽-歧口水系(可与现今的海河水系相对应)<sup>[12]</sup>, 受沧县隆起控制的沈青庄-北大港-歧口水系, 受埕宁隆起控制的羊二庄-后唐堡-歧口水系, 受未知物源控制的沧州-孔店-南大港-歧口水系。根据重矿物系数特征、物源区位置及影响范围, 前3个水系属于沿盆地短轴方向发育的短源型河流, 而第4个水系则为远源型河流

(图5), 其物源区远于沧县隆起带。其重矿物特征与黄土高原、黄河现河床具有一定相似性(表3), 主要重矿物为角闪石、绿帘石、石榴子石、磁铁矿和褐铁矿等, 其中锆石、石榴子石和磁铁矿随着远离物源

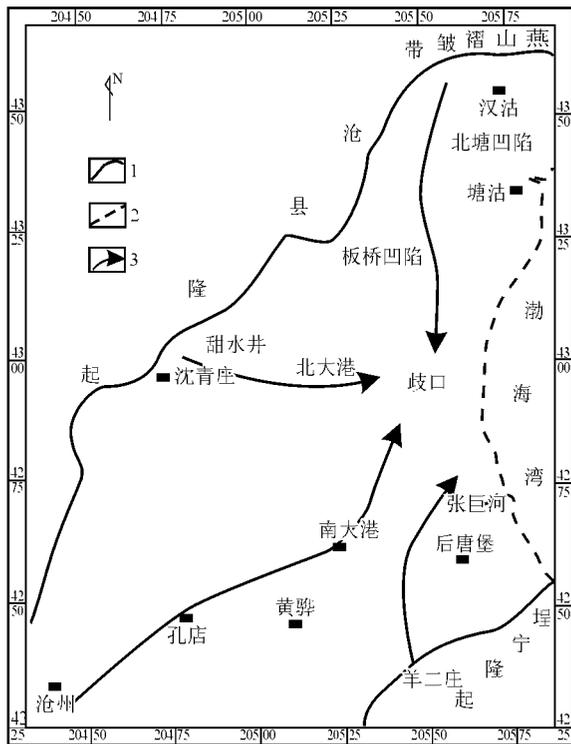


图 5 黄骅拗陷水系分布略图

1. 盆地界线; 2. 海陆界线; 3. 水系

Fig. 5 Sketch map showing the drainage distribution in the Huanghua depression

1 = basin boundary; 2 = terrestrial-marine boundary; 3 = drainage

表 3 沧州-孔店-歧口水系与黄河重矿物含量及其对比

Table 3 Comparison of the heavy mineral contents in the Cangzhou-Kongdian-Qikou drainage and the Zhengzhou section of the Huanghe River

矿物	孔店	黄河河床 (郑州)	黄土高原
极稳定矿物			
锆石	10.1	3.14	1.37
金红石	1.15	0.41	
电气石	1.2	3.14	
稳定矿物			
褐铁矿	4.25	3.14	
楣石	3	2.09	1.57
较稳定矿物			
绿帘石	5.15	16.27	24.16
石榴子石	45.4	34.05	1.96
磁铁矿	8.45	3.46	
十字石	0.3		
不稳定矿物			
角闪石	4.2	8.48	18.22
黑云母	0.5	0.59	7.53

注: 黄河河床以及黄土高原数据引用于吴忱等, 黄河古三角洲的发现及其水系变迁的关系。

区,百分含量明显增加,而角闪石则由多变少。

华北平原自古近纪以来强烈下沉,形成北东向展布的大裂谷,古黄河下游主流沿此裂谷向北东方向在天津附近注入渤海(赵根模,刘雨田,新构造运动对渤海湾西岸古河道及海岸地貌演变的影响,1991)<sup>[13]</sup>。因此黄骅拗陷内的沧州-孔店-南大港-歧口水系可能与古黄河有关。这条水系与前人所划定的东风港-歧口水系位置相近,而该水系曾为一支古黄河水系<sup>[1,14]</sup>。所以初步推断黄骅拗陷西南沉积区的沧州-孔店-南大港-歧口水系与古黄河有关。虽然在新近纪早期现代黄河并未形成,但该水系可能为早期黄河水系。

#### 参考文献:

- [1] 王德发,张服民.黄骅拗陷第三系沉积相及沉积环境[M].北京:地质出版社,1987:122-133.
- [2] 王玉满,袁选俊,黄祖熹等.渤海湾盆地南堡凹陷新近系馆陶组沉积特征[J].古地理学报,2003,5(4):404-413.
- [3] 焦养泉,李珍,周海明.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[J].岩相古地理,1998,18(5):16-

20.

- [4] 陈纯芳,郑浚茂,王德发.板桥凹陷沙三段沉积体系与物源分析[J].古地理学报,2001,3(1):55-52.
- [5] 王昆山,石学法,林振宏.南黄海和东北北部陆架重矿物组合分区及来源.海洋科学进展[J].2003,21(1):31-40.
- [6] 武法东,陆永潮,阮小燕.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[J].现代地质,1996,10(3):397-403.
- [7] 李珍,焦养泉,刘春华.黄骅拗陷高柳地区重矿物物源分析[J].石油勘探与开发,1998,25(6):5-7.
- [8] 马峰,刘立,阎华,等.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.
- [9] 卢纹岱,朱一力,沙捷,等.SPSS for windows 从入门到精通[M].北京:电子工业出版社,1999.358-464.
- [10] 河北省地质矿产局.河北省北京市天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [11] 山东省地质矿产局.山东省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [12] 姜培海.渤海湾地区古水系特征[J].CHINA OFFSHORE OIL AND GAS (GEOLOGY),1998,12(3):200-205.
- [13] 吴忱,许清海,阳小兰.论华北平原的黄河古水系[J].地质力学学报,2000,6(4):2-8.
- [14] 赵澄林,陈纯芳.渤海湾早第三纪油区岩相古地理及储层[M].北京:石油工业出版社,2003.53-55.

## The heavy minerals and provenances of the Neogene Guantao Formation in the Huanghua depression

SUN Xiao-xia<sup>1,2</sup>, LI Yong<sup>1</sup>, QIU Dong-zhou<sup>3</sup>, XIAO Dun-qing<sup>4</sup>, WU Zhan-guo<sup>4</sup>, ZHANG Lian-xue<sup>4</sup>, CHEN Rong<sup>1</sup>, ZHAO Zhan<sup>1</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. China West Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China; 3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 4. Dagang Oil Field, Tianjin 300280, China)

**Abstract:** The Q-mode cluster analysis and Q-mode factor analysis are employed to examine the areas of the heavy mineral associations from the Neogene Guantao Formation in the Huanghua depression aiming at determining the nature and types of the parent rocks in the study area. Four areas of heavy mineral associations have been comparted. The parent rocks from three of the above-mentioned areas can well be compared with those from their surrounding Yanshan, Cangxian and Chengning palaeouplifts. The source areas indicated by the stable coefficients of the heavy minerals also coincide with the positions of the three palaeouplifts cited above. Judged from higher stable coefficients of the heavy minerals, the rest one of the areas of heavy mineral associations which differs greatly from the above-mentioned three areas of heavy mineral associations should be dominated by the distal sediments, and their source areas should be far from the preceding palaeouplifts. There may be four isolated drainages in the study area; three are controlled by proximal rivers and one by distal rivers which may be related with ancient Huanghe drainages.

**Key words:** Huanghua depression; Neogene; heavy mineral; provenance; Bohai Gulf Basin