

文章编号: 1000-0550(2008) 06-0925-08

东营凹陷古近系中深层湖盆演化中的无机元素响应^①

陈中红 查明 金强

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 为查明无机元素分布与水深、盐度等沉积环境以及湖盆演化过程的关系,采用电感耦合等离子体发射光谱仪分析对东营凹陷郝科 1 科探井古近系深层微量元素含量进行了测试、分析,所涉及的研究层位是该凹陷的主要烃源岩层段(沙河街组三亚段、沙河街组四亚段、孔店组),分析结果表明:在水体浅、蒸发作用强烈的孔店组—沙四下亚段强氧化性滨浅湖环境里,钙、锶含量和 Ca/Mg 、 Sr/Ba 、 Sr/Ca 参数值具低值响应,铁、铝、钡、钒含量和 $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ 参数值具高值响应;在沙四中亚段膏岩、盐岩等普遍发育的盐湖环境中,钠、锶含量和 Sr/Ba 、 Fe/Mn 、 Sr/Ca 均出现高值响应,锰、钡、钒含量和 V/Ni 、 $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ 出现低值响应;在还原性的沙四上亚段半咸化深湖环境中,钾、钠、铁含量和 Fe/Mn 值具低值响应,钙、锰含量具高值响应;在沙四中亚段膏盐与泥岩共生体系中元素分布离散性明显,呈现波动性特征; Sr/Ba 、 Sr/Ca 在盐湖环境中出现显著的高值响应,被证实可以作为良好的水体盐度指标参数, Fe/Mn 、 $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ 随水体加深逐渐增大,是良好的水体深浅指标参数。元素分布受沉积环境、岩性特征等多种地质因素的影响,在利用元素含量分布及特征元素比值来判断某单个地质因素的变化时,应该应用多种参数,进行综合判断。

关键词 无机元素响应 元素比值参数 湖盆演化 盐湖 东营凹陷

第一作者简介 陈中红 男 1976 年出生 博士 油气地质与勘探 E-mail: hongzh@163.com

中图分类号 P595 **文献标识码** A

无机元素的分布可以有效地反映和湖盆水体深浅、水体盐度以及古气候等诸多沉积环境信息^[1-7],利用无机元素在剖面上的变化也可以反映湖盆演化过程^[8-10]。除此之外,某些特征元素比值可以更好地反映古气候、古水体和古沉积环境变化的变化,如 Sr/Ba 、 Sr/Ca 、 Fe/Mn 、 $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ 等比值常被作为湖泊水体变动的指标,现已有广泛应用。但是针对不同湖盆环境中无机元素及相关比值参数的综合响应,目前还没有见到良好的实例说明。为查明无机元素含量与沉积环境,尤其是盐度和水深变化的关系,以及无机元素含量变化与湖盆演化过程的关系,本文对郝科 1 井进行重点分析。郝科 1 井是东营凹陷的一口深层科探井,对该井的主要烃源层段(沙三段、沙四段、孔店组)进行了部分取芯、测试,其丰富的地球化学信息可以很好地揭示在湖盆演化过程中部分无机元素及某些比值参数的响应。

1 区域特征及郝科 1 井概况

东营凹陷属于渤海湾中、新生代裂谷盆地的三级负向构造单元,位于济阳拗陷南部,具有北断南超的开拗型箕状凹陷特征^[11]。该凹陷是在古生界基岩古地形背景上经构造运动发育起来的断陷—拗陷湖盆,面

积 5 700 km²。其孔店组、沙四段为蒸发环境下的盐湖沉积,沙三段主要发育大套暗色泥岩夹油页岩、薄层砂岩的半深湖、深湖、浅湖相沉积,沙四段和沙三段被认为东营凹陷的主力烃源岩^[7],而近几年的勘探实践表明,其孔店组也具有一定的生烃潜力。因此本次研究所涉及的是重要的烃源层系,具有重要的勘探意义。

郝科 1 井是胜利油田为查明东营凹陷古近系深层盐岩层下的油气成藏条件而钻的一口科探井,位于山东省东营市垦利县郝家乡郝家村东北距离约 1.1 km,地质构造处于东营凹陷中央背斜构造带。该井钻探的目标层位为古近系孔二亚段,但由于技术套管被蠕动的盐岩层挤毁被迫提前完钻,完钻时钻深在孔一亚段 5 807.81 m。该井钻遇的盐层顶界深度是 3 395.5 m,底界深度是 4 250 m,总厚度 854.5 m,盐层主要分布于沙四中、下亚段。对该井沙三中、下亚段、沙四段及孔店组进行了系统取芯、测试,样品的微量元素和常量元素含量由胜利石油管理局地质研究院地层室完成,是用电感耦合等离子体发射光谱仪分析得出。

2 无机元素及特征元素比值参数的古环境意义

不同元素的分布和富集受不同的沉积环境控制,

^①山东省自然科学基金(编号:Q2007E04)资助。
收稿日期:2008-01-26 收修改稿日期:2008-03-10

如元素 $A \downarrow Fe, K, Li, Ca, Ni$ 和 V 被认为是一类代表陆源风化产物随河流进入湖盆沉积的外源元素, Ca, Mg, Mn, Sr 与这些元素的变化趋势相反, 属湖盆内化学沉积的产物, 同属内源元素, 受水体环境的影响^[9], 因此, 特征元素比值大小的分布常与水体深浅及盐度等沉积环境因素有关, 研究井段部分特征元素比值就显示出与水体深浅及盐度有着良好的相关性。锶比钡迁移能力强, 在淡水湖泊, 水介质酸性比较强, 矿化度很低, 硫酸根离子含量少, 锶、钡均以重碳酸盐的形式保留在湖水中, 当湖水不断咸化, 矿化度逐渐增高时, 钡首先以硫酸钡形式沉淀出来, 而锶只有当湖水或海水浓缩到一定程度后才能产生硫酸锶的沉淀, 因此 Sr/Ba 比值来确定古盐度^[12, 13]。并且认为 Sr/Ba 比值大于 1 为咸(海相)水介质, Sr/Ba 比值小于 1 为淡水介质^[14]。本次研究中, 郝科 1 井沙四中 Sr/Ba 均值为 3.99, 而沙三中下亚段及沙四上亚段该值仅 0.7 左右, Sr/Ba 在沙四中亚段盐湖中出现如此显著的高值响应, 证实可作为良好的盐度指标。钙离子与钡离子性质相近, 迁移能力也较锶弱, 从本次研究结果看, 沙四中亚段盐湖中 Sr/Ca 也出现高值响应(均值为 0.019, 明显高于其它层段), 因此也可作为盐度指标。

Fe 与 Mn 的化学性质差异较大, Fe 的化合物易在河口或滨岸地带富集, 而 Mn 的化合物稳定性较

强, 在湖盆中可发生长距离迁移, 在远离滨岸的盆地中沉积下来, 故 Mn 在泥岩特别在碳酸盐岩中更加富集, Fe/Mn 比值可作为离岸距离(或水深)的标志; Fe 和 Al 均在陆源碎屑岩中含量较高, 尤其在泥岩中随碳酸盐矿物的富集而减少, 而 Ca 和 Mg 主要赋存于碳酸盐岩中, 因此 $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ 也可以反映水体深浅的变化, 并且两参数值越大, 水体越深^[15]。从本次研究结果看, 在沙三下亚段 3.12~2.8 km 中, $Fe/Mn = (Fe+Al)/(Ca+Mg)$ 随埋深减小出现明显增大趋势, 显示该两参数可作为良好的水体深浅的指标, 同时也表明在郝科 1 井区该井段湖盆仍然处于鼎盛发展阶段, 气候湿润, 由于可容空间较大, 盆地断陷作用不断增强, 水体不断加深。除此以外, 在沙三中、下亚段中, $Ca/Mg, Sr/Ba, Sr/Ca$ 随水体加深均出现减小趋势, 表明该三参数除受水体盐度控制外, 也受水体深浅影响, 在同种介质的水体环境里, 也可作为水体深浅的指标, 并且三个参数随水体深浅变化出现同样的变化规律, 值越小, 反映水体越深。

3 元素分布与古环境意义

3.1 不同井段元素分布

郝科 1 井研究井段元素含量在剖面上的分布具有以下特征(图 1~图 3):

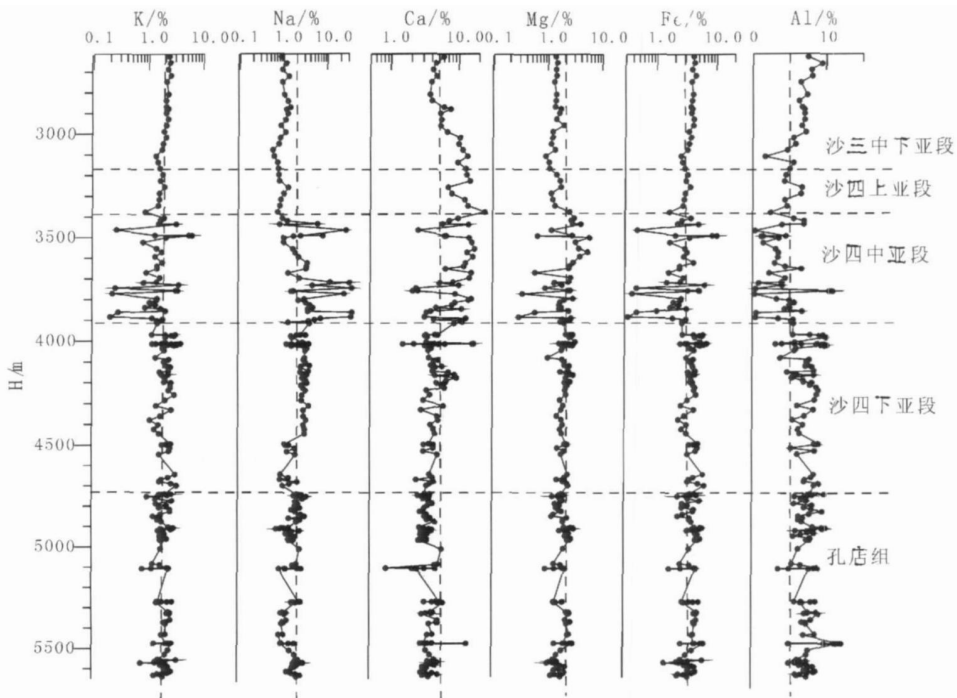


图 1 东营凹陷郝科 1 井常量元素剖面分布

Fig 1 The sectional distribution of the content of major mineral elements in the Paleogene from Well Haoke-1 in Dongying Sag

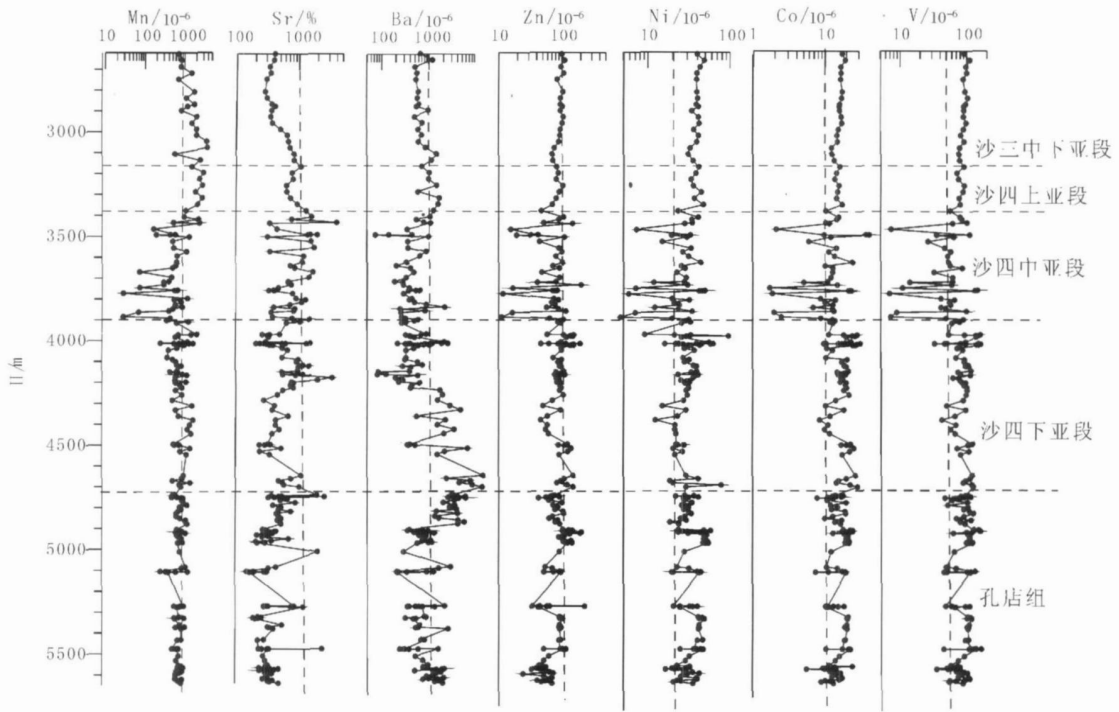


图 2 东营凹陷郝科 1 井微量元素剖面分布

Fig. 2 The sectional distribution of the content of trace mineral elements in the Paleogene from Well Haoke-1 in Dongying Sag

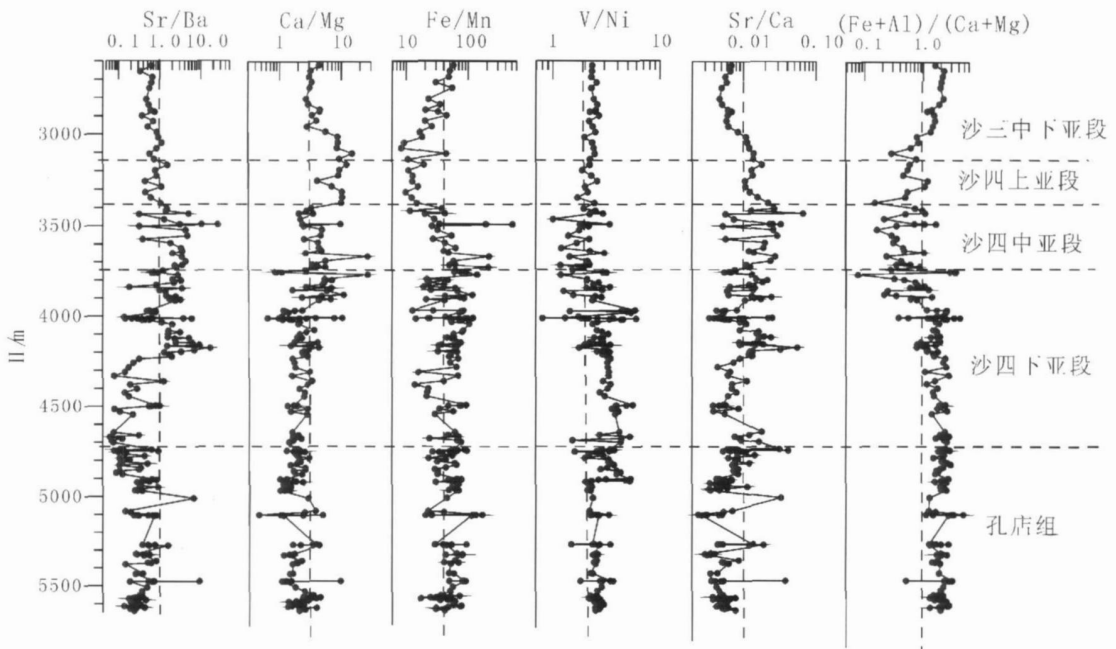


图 3 东营凹陷郝科 1 井特征元素比值剖面分布

Fig. 3 The sectional distribution of the elemental ratio parameters in the Paleogene from Well Haoke-1 in Dongying Sag

1) 从孔店组井深 5 639 km 到沙四下亚段的 4 2 km, 钡元素含量从 5 639~5 0 km 钡元素含量总体减小, 5 0~4 7 km 钡元素含量呈明显增大趋势, 4 7~4 2 km 钡元素含量呈减小趋势; 锶元素含量与钡

元素含量变化总体一致, 变化均较大; 其它各元素含量在局部层段也出现一些变化, 但总体上变化相对较小, 而从该井段的岩性特征看, 主要为紫红色泥岩夹粉砂岩, 偶夹含膏质泥岩, 反映了该井段沉积环境和

气候均较稳定;

2)从沙四下亚段的 4 2~ 3 4 km, 膏盐含量明显增多, 尤其在沙四中亚段呈现明显的膏盐、盐岩和泥岩频繁共生混层特征, 而盐岩、膏盐与泥岩中元素不同的分布规律导致在该井段各元素含量分布比较离散, 最高值与最低值相差一个数量级以上, 高值与低值相间分布, 呈明显的波动特征, 显示了当时湖泊沉积过程的波动性和不稳定性。

3)从 3 4~ 3 12 km, 钾、钠、铁、锰、钡、镍、钴、钒等部分元素含量分布变化相对较小, 而钙、镁、铝、锶、锌、等元素含量分布变化相对明显, 其中钙、镁、锶、等元素含量分布特征相似, 变化均较明显, 总体上呈现先减小后增大的变化趋势, 而锌、铝、钒等元素含量分布总体上有先增大后减小的特征; 从元素比值参数上看, Sr/Ba Ca/Mg Sr/Ca等参数总体上均显示先减小后增大的演变特征, (Fe+ Al)/(Ca+ Mg)具有先增大后减小的趋势, 上述特征反映该井段湖盆水体先是加深后又逐渐减退, 导致湖水盐度先减小后逐渐增大的演变过程。

4)从沙三中、下亚段 3 12~ 2 8 km, 是湖盆水体逐渐加深和淡化的过程, 钾、铁、铝、镁等元素含量具有一定的增大趋势, 而钙、锰、锶、钡等元素含量具有一定的减小趋势, 钠、锌、镍、钴、钒等元素含量分布相对稳定, 变化不明显。在该井段中(尤其在沙三中、下亚段 3. 15 ~ 2 8 km)特征素比值出现较显著的响应特征, Sr/Ba Ca/Mg Sr/Ca随水体加深出现减小趋势, 而 Fe/Mn (Fe+ Al)/(Ca+ Mg)随水体加深出现增大趋势, V/Ni变化较小。

5)从沙三中、下亚段 2 8~ 2 6 km, 各常量无机

元素和微量无机元素含量均保持十分稳定, Sr/Ba Ca/Mg Sr/Ca Fe/Mn (Fe+ Al)/(Ca+ Mg)等参数变化相对较小, 表明该井段湖盆已发展到鼎盛期, 处于相对稳定状态, 水深变化幅度较小。

3 2 不同层位元素分布

与其它研究井段相比较而言, 孔店组常量元素中, 钾、钠、镁含量居中(表 1), 钙含量分布于 0 87% ~ 13 41%, 平均值为 3 81%, 低于其它层位; 铁、铝含量平均值分别为 3 91% 和 7 65%, 高于其它层位。微量元素中(表 2), 锰、镍、锌、钴含量平均值分别为 751.62×10^{-6} 、 34.48×10^{-6} 、 84.53×10^{-6} 、 15.93×10^{-6} , 较其它研究井段居中等含量, 而锶的含量分布于 $142.4 \times 10^{-6} \sim 2457 \times 10^{-6}$, 平均值为 427.4×10^{-6} , 要明显低于其它层段, 钡和钒的含量均值分别为 1457.86×10^{-6} 、 93.66×10^{-6} , 显示为研究井段的最高值。特征元素比值分布中(表 3), Ca/Mg Sr/Ba Sr/Ca均值分别为 2 2 0 54 0.007, 均为研究井段最低值; (Fe+ Al)/(Ca+ Mg)均值为 2 1, 明显高于其它井段。从构造沉积特征看, 东营凹陷在孔店组沉积期时, 处于构造转型期, 受郯庐断裂带的影响, 凹陷由中生代的左旋平移运动向古近纪的右旋平移运动转换, 作用强度大, 运动状态由南向北、由东向西迁移, 具红色冲积扇—河流为主的盆地充填特征^[16], 郝科 1井区由于沉积物供给不足, 主要沉积了一套夹粉砂岩、含膏质泥岩的紫红色泥岩。以上特征表明, 孔店组沉积时期, 气候比较干旱, 阳光充足导致蒸发作用强烈, 主要形成滨浅湖沉积环境。

沙四下亚段常量元素分布中, 钾、钠、钙、镁的含量总体上比孔店组有一定的增长, 而铁、铝含量总体

表 1 郝科 1井古近系常量元素含量分布统计

Table 1 The statistics of the content of major mineral elements in the Paleogene from Well Haoke-1

层位	K	Na	Ca	Mg	Fe	Al
分布范围 /%						
E _{s3}	1.34~ 2.50	0.57~ 1.42	3.76~ 13.59	0.90~ 1.91	2.53~ 4.45	1.70~ 9.40
E _{s4} ^s	0.86~ 1.90	0.75~ 1.28	6.97~ 24.51	1.13~ 2.48	1.63~ 3.60	2.46~ 6.74
E _{s4} ^z	0.25~ 6.14	0.83~ 36.72	2.40~ 17.13	0.57~ 5.79	0.46~ 10.13	0.34~ 7.09
E _{s4} ^x	0.20~ 3.78	0.86~ 37.08	1.51~ 16.78	0.29~ 3.15	0.33~ 6.89	0.33~ 10.97
Ek	0.73~ 3.29	0.71~ 3.41	0.87~ 13.41	0.91~ 3.08	1.39~ 6.27	3.62~ 12.25
平均值 /%						
E _{s3}	2.01	0.98	7.15	1.34	3.66	6.50
E _{s4} ^s	1.52	0.90	13.28	1.56	2.86	4.82
E _{s4} ^z	1.88	7.03	10.11	2.68	3.31	3.49
E _{s4} ^x	2.02	3.75	5.47	2.08	3.81	7.01
Ek	1.92	1.79	3.81	1.91	3.91	7.65
总平均值	1.95	2.90	5.59	1.99	3.76	6.83

注: E_{s3}表示沙三段; E_{s4}^s表示沙四上亚段; E_{s4}^z表示沙四中亚段; E_{s4}^x表示沙四下亚段; Ek表示孔店组

表 2 郝科 1 井微量元素含量分布统计 / 10^{-6}

Table 2 The statistics of the content of trace mineral elements in the Paleogene from Well Haoke-1

层位	Mn	Ni	Zn	Sr	Co	Ba	V
分布范围	E_{s_3} 573.2~3901	31.08~48.26	70.94~111.4	279.4~1047	12.53~19.29	496.5~1437	76.64~111.5
	$E_{s_4}^s$ 1108~3057	23.49~47.69	48.03~104.7	616.3~1278	10.37~17.53	576.9~1625	57.09~92.33
	$E_{s_4}^z$ 28.2~2139	7.14~44.38	15.79~204.7	309.9~3890	1.69~42.34	73.23~1065	7.38~112.5
	$E_{s_4}^x$ 71.9~2513	4.67~96.5	11.25~199.8	201.8~3269	1.84~31.41	79.21~12790	6.93~162.9
	E_k 2555.5~1267	16.55~58.51	24.64~231.5	142.4~2457	5.49~24.37	209.5~5819	35.9~166.7
平均值	E_{s_3} 1641.55	39.29	94.19	494.58	16.03	727.83	92.27
	$E_{s_4}^s$ 2367.57	37.21	81.08	813.80	14.52	1191.03	77.77
	$E_{s_4}^z$ 697.91	26.57	77.41	1135.35	14.02	473.68	55.04
	$E_{s_4}^x$ 805.40	30.75	95.70	655.74	17.18	1454.63	89.39
	E_k 751.62	34.48	84.53	427.45	15.93	1457.86	93.66
总平均	891.29	32.88	88.48	595.26	16.15	1289.80	87.75

表 3 郝科 1 井特征元素比值分布统计

Table 3 The statistics of elemental ratio parameters of the Paleogene from Well Haoke-1

层位	Sr/Ba	V/Ni	Fe/Mn	Ca/Mg	(Fe+Al)/(Ca+Mg)	Sr/Ca
分布范围	E_{s_3} 0.33~1.51	1.98~2.68	8.35~57.05	2.68~15.1	0.29~2.26	0.005~0.018
	$E_{s_4}^s$ 0.43~1.08	1.69~2.57	9.66~15.29	4.05~10.28	0.15~1.19	0.01~0.22
	$E_{s_4}^z$ 0.32~26.3	1.0~3.39	11.47~519.22	2.06~26.89	0.16~1.65	0.005~0.066
	$E_{s_4}^x$ 0.07~17.08	0.80~5.99	12.62~138.29	0.64~26.53	0.07~4.23	0.003~0.056
	E_k 0.08~9.36	1.49~5.36	17.07~168.86	0.46~9.93	0.52~4.8	0.002~0.042
平均值	E_{s_3} 0.70	2.36	29.84	5.77	1.40	0.008
	$E_{s_4}^s$ 0.74	2.13	12.50	8.48	0.63	0.014
	$E_{s_4}^z$ 3.99	1.99	85.59	4.87	0.60	0.019
	$E_{s_4}^x$ 1.71	3.07	57.81	3.13	1.68	0.011
	E_k 0.54	2.77	56.74	2.20	2.10	0.007
总平均	1.31	2.75	56.29	3.29	1.70	0.010

有小幅下降;微量元素中锰、锌、锶、钴含量较孔店组增加,而钡、钒、镍含量下降;特征元素比值分布中, Ca/Mg Sr/Ba Sr/Ca V/Ni 值增加(均值分别为 3.13, 1.71, 0.011, 3.07), (Fe+Al)/(Ca+Mg) 值下降(均值为 1.68)。从岩性沉积特征看,主要为石膏、岩盐沉积,当时东营凹陷湖水含盐度很高,化学沉积比较发育,后期形成了以灰色泥岩夹石膏、盐岩为主的地层,在凹陷的中心部位形成了厚达 400~600m 的盐岩、石膏层,湖相碳酸盐岩沉积体系广泛发育^[17]。郝科 1 井区沙四下亚段仍然以紫红色软泥沉积为主,其中夹有含膏泥岩、盐岩、白云质粉砂岩等。以上特征反映,沙四下亚段沉积时,盆地裂隙作用加强,构造沉降幅度开始加大,气候仍然保持干旱,气候干热并向盐湖演化。

沙四中亚段常量元素分布中,铝含量显示研究井段相对低值(均值分 3.49%),而钠、镁含量分别为 7.03%、2.68%,明显高于其它井段;微量元素低值响应更为明显,如锰、镍、锌、钴、钡、钒均值分别为 697.9×10^{-6} 、 26.57×10^{-6} 、 77.41×10^{-6} 、 14.02×10^{-6} 、

473.6×10^{-6} 、 55.04×10^{-6} ,明显低于其它研究井段,仅锶含量显示相对高值(均值为 1135.35×10^{-6});相应地,特征元素比值分布上也有明显响应, V/Ni (Fe+Al)/(Ca+Mg) 出现低值响应(均值分别为 1.99, 0.6), Sr/Ba Fe/Mn Sr/Ca 均出现高值响应(均值分别为 3.99, 85.59, 0.019)。岩性特征上看,沉积物特征明显变暗,为深灰色和灰白色(含暗褐色、灰黑色)膏岩、盐岩等蒸发岩夹暗色泥岩。以上特征表明,沙四中亚段沉积时,湖盆裂隙作用进一步加强,构造沉降幅度明显加大,造成当时山势较高,连绵分布,高山之间为大型断陷湖盆^[18],并且气候干热,造成湖盆水体的大量蒸发,使水体盐度升高,湖泊咸化,形成典型的盐湖相沉积。

沙四上亚段元素分布中,钾、钠、铁含量出现低值响应,均值分别为 1.52%、0.9%、2.86%,均低于其它井段对应元素含量,而钙含量相对较高,均值达 13.28%,明显高于其它井段;微量元素中,锰含量出现异常高的响应(均值为 2367.57×10^{-6})。特征元素比值中, Fe/Mn 值分布于 9.66~15.29,均值为

12.50 明显低于其它井段。(Fe+Al)/(Ca+Mg) 分布于 0.15~1.19, 均值为 0.63 为相对低值。从沉积物岩性特征上看, 以化学沉积和细粒碎屑岩沉积占绝对优势, 沉积物以深灰色(含褐灰色、黑灰色)泥岩、钙质泥岩及油页岩为主, 表明沙四上亚段沉积期, 盆地下沉, 水域面积扩大, 沉积作用以碎屑沉积为主, 湖盆盐度相对下降, 沉积速度十分缓慢, 盆地呈现出欠补偿的饥饿状态, 显示出封闭一半封闭的咸水湖沉积特点。

总体来看, 郝科 1 井沙三中、下亚段中, 钠、镁含量显示为相对低值, 均值分别为 0.98%、1.34%; 镍、钒等微量元素含量显示为相对高值, 均值分别为 39.29×10^{-6} 、 92.27×10^{-6} , 其它元素在整个研究井段中显示中等含量。元素比值中 Sr/Ba 和 Sr/Ca 显示相对低值, 其均值分别为 0.7 和 0.008 显示了半咸水—淡水湖盆沉积环境。沉积物岩性特征显示, 沙三中、下亚段主要发育较强生烃能力的 I 型有机质, 烃源岩为黑色页岩、油页岩等优质烃源岩, 矿物中方解石、黄铁矿含量较高, 显示沉积界面为硫化物相和强还原环境。以上特征结合其它分析表明^[19], 东营凹陷沙三中、下亚段沉积时, 大部分地区处于深湖一半深湖环境, 发育了深湖相油页岩、深灰色泥岩、钙质泥岩和深水浊积扇沉积。沙三下亚段沉积时, 湖盆处于稳定沉降时期, 形成深水湖相沉积, 虽然有少量淡水的注入, 但由于蒸发作用较强, 盐度较高, 湖水出现分层, 湖底呈厌氧环境。到沙三中亚段沉积时, 湖盆

抬升, 湖水后退, 湖盆水体逐渐变浅和更加淡化。

上述各元素的分布特点, 反映了东营凹陷古近系中深层不同沉积环境的湖盆中元素的分布规律及两者的相互关系, 郝科 1 井古近系中深层无机元素(及相关比值)的典型特征与湖盆沉积环境及演化规律可以归结为表 4。

4 结论

郝科 1 井研究井段元素分布规律显示: ①在水体浅、蒸发作用强烈的强氧化性滨浅湖环境里, 钙、锶含量和 Ca/Mg Sr/Ba Sr/Ca 参数值具低值响应, 铁、铝、钡、钒含量和 (Fe+Al)/(Ca+Mg) 参数值具高值响应; ②在膏岩、盐岩等普遍发育的盐湖环境中, 钠、锶含量和 Sr/Ba Fe/Mn Sr/Ca 均出现高值响应, 锰、钡、钒含量和 V/Ni (Fe+Al)/(Ca+Mg) 出现低值响应; ③在半咸化的还原性半深湖环境中, 钾、钠、铁含量和 Fe/Mn 值具低值响应, 钙、锰含量具高值响应; ④在还原性的半深湖—深湖淡水环境中, 随水体变浅和逐渐淡化, 钾、铁、铝、镁等元素含量和 Fe/Mn (Fe+Al)/(Ca+Mg) 具增大响应, 而钙、锰、锶、钡等元素含量和 Sr/Ba Ca/Mg Sr/Ca 具减小响应。

由于元素分布受沉积环境、岩性特征等多种地质因素的影响, 因此在利用元素含量分布及特征元素比值来判断某单个地质因素的变化时, 应该应用多种参数, 进行综合判断。

表 4 郝科 1 井古近系湖盆演化与无机元素响应特征

Table 4 The response of mineral elements to the evolution of the lacustrine lake in the Paleogene from Well Haoke-1

层位	湖盆类型	湖盆总体环境及其变化	湖盆岩性特征	典型元素及特征元素比值响应
孔店组—沙四下亚段	滨浅湖, 沙四下亚段湖水咸化	水体浅, 蒸发作用强烈, 强氧化性环境	含膏质、盐岩的紫红色泥岩夹粉砂岩	Ca Sr 含量和 Ca/Mg Sr/Ba Sr/Ca 参数值具低值响应, Fe Al Ba V 含量和 (Fe+Al)/(Ca+Mg) 参数值具高值响应
沙四中亚段	盐湖	水体深浅波动明显, 氧化与还原交替	深灰色和灰白色(含暗褐色、灰黑色)膏岩、盐岩等蒸发岩夹浅色泥岩	膏盐中众多元素含量亏损而在相邻泥岩中相对富集(Na, Ca 除外); Na Sr 含量高; Mn Ba V 含量低, V/Ni (Fe+Al)/(Ca+Mg) 出现低值响应, Sr/Ba Fe/Mn Sr/Ca 均出现高值响应
沙四上亚段	半深湖, 半咸化	水体开始加深, 还原性环境	深灰色(含褐灰色、黑灰色)泥岩、钙质泥岩及油页岩	K, Na, Fe 含量和 Fe/Mn 值具低值响应, Ca, Mn 含量具高值响应
沙三中下亚段	深湖—半深湖, 淡水—半咸水	水体加深和淡化, 还原性环境	深湖相油页岩、深灰色泥岩、钙质泥岩夹浊积砂岩	随水体加深变淡, K, Fe, Al, Mg 等元素含量总体增大, 而 Ca, Mn, Sr, Ba 等元素含量总体减小, Sr/Ba, Ca/Mg, Sr/Ca 减小, Fe/Mn (Fe+Al)/(Ca+Mg) 增大。

参考文献 (References)

- 许淑梅, 翟世奎, 张爱滨, 等. 长江口及其邻近海域表层沉积物中氧化还原敏感性微量元素的环境指示意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 759-765 [Xu Shumei, Zhai Shikui, Zhang Aibin, et al. Distribution and environment significance of redox sensitive trace elements of the Changjiang estuary hypoxia zone and its contiguous sea area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 759-765]
- 宋春晖, 鲁新川, 邢强, 等. 临夏盆地晚新生代沉积物元素特征与古气候变迁 [J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 409-416 [Song Chunhui, Lu Xinchuan, Xing Qiang, et al. Late Cenozoic element characters and paleoclimatic change of the lacustrine sediments in Linxia Basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(3): 409-416]
- 刘刚, 周东升. 微量元素分析在判别沉积环境中的应用——以江汉盆地潜江组为例 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 307-314 [Liu Gang, Zhou Dongsheng. Application of microelements analysis in identifying sedimentary environment taking Qianjiang Formation in the Jianghan basin as an example [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2007, 29(3): 307-314]
- 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 W58 井区沙四上亚段研究为例 [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]
- 熊应乾, 刘振夏, 杜德文, 等. 东海陆架 EA01 孔沉积物常微量元素变化及其意义 [J]. 沉积学报, 2006, 24(3): 356-364 [Xiong Yingqian, Liu Zhenxia, Du Dewen, et al. Variation and its implication of major and trace elements of Hole EA01 from the continental shelf of the East China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(3): 356-364]
- 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 海相地层无机参数与烃源岩发育环境的相关研究——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 411-421 [Teng Geer, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. Study on relation between inorganic parameters in marine deposits and developmental environment of hydrocarbon source rocks taking Ordos Basin as an example [J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(4): 411-421]
- 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 塔里木盆地肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩微量元素和稀土元素地球化学及其沉积背景 [J]. 沉积学报, 2004, 22(10): 59-66 [Yu Bingsong, Chen Jianqiang, Li Xingwu, et al. Rare earth and trace element patterns in bedded cherts from the bottom of the Lower Cambrian in the northern Tarim Basin, Northwest China—implication for depositional environments [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(10): 59-66]
- 彭海艳, 陈洪德, 向芳, 等. 微量元素分析在沉积环境识别中的应用——以鄂尔多斯盆地东部二叠系山西组为例 [J]. 新疆地质, 2006, 24(20): 202-205 [Peng Haiyan, Chen Hongde, Xiang Fang, et al. Application of trace elements analysis on sedimentary environment identification: an example from the Permian Shanxi Formation in east-
- em Ordos Basin [J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(20): 202-205]
- 刘春莲, 秦红, 车平, 等. 广东三水盆地始新统心组生油岩元素地球化学特征及沉积环境 [J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 125-135 [Liu Chunlian, Qin Hong, Che Ping, et al. Elemental geochemistry and sedimentary environments of source rocks of the Buxin Formation of Eocene in Sanshui Basin, Guangdong Province [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 125-135]
- 叶爱娟, 朱扬明. 柴达木盆地第三系咸水湖相生油岩古沉积环境地球化学特征 [J]. 海洋与湖泊, 2006, 37(5): 472-480 [Ye Aijuan, Zhu Yangming. Geochemical and sedimentary features of Tertiary saline lacustrine source rocks in Qaidam basin [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2006, 37(5): 472-480]
- 袁静, 覃克. 东营凹陷沙四段深水成因蒸发岩特征及其与油气藏的关系 [J]. 石油大学学报, 2001, 25(1): 921 [Yuan Jing and Qin Ke. Characteristics of evaporite generated in deep water of Sha4 member in Dongying sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2001, 25(1): 921]
- 孙镇城, 杨藩, 张枝焕. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 133-137 [Sun Zhencheng, Yang Fan, Zhang Zhihuan. Salted Lacustrine Sedimentary Basin of the Cenozoic in China and the Generation of Oil and Gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 133-137]
- 彭立才, 韩德馨, 濮人龙, 等. 陆相咸化湖泊沉积中锶钡比值及其地质意义 [J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 50-52 [Peng Licai, Han Dexin, Pu Renlong, et al. (Sr/Ba) value of continental brackish lake deposit and its geological significance [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1999, 28(1): 50-52]
- 宋明水. 东营凹陷南斜坡沙四段沉积环境的地球化学特征 [J]. 矿物岩石, 2005, 25(1): 67-73 [Song Mingshui. Sedimentary environment geochemistry in the Shasi section of the south ramp, Dongying depression [J]. Journal of Mineral Petrology, 2005, 25(1): 67-73]
- 张永生, 杨玉卿, 漆智先, 等. 江汉盆地潜江凹陷古近系潜江组含盐岩系沉积特征与沉积环境 [J]. 古地理学报, 2003, 5(1): 29-35 [Zhang Yongsheng, Yang Yuqin, Qi Zhixian, et al. Sedimentary characteristic sand environments of the salt-bearing series of Qianjiang Formation of the Paleogene in Qianjiang sag of Jianghan basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(1): 29-35]
- 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素——以济阳拗陷东营凹陷为例 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 40-45 [Yu Xinghe, Jiang Hui, Li Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in the eastern China—a case study of Dongying Sag of Jiyang Depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 40-45]
- 朱光有, 金强, 周建林, 等. 渤海湾盆地东营断陷湖盆充填模式研究 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 143-148 [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Zhou Jianlin, Zhang Linye. Study on the infilling patterns of lacustrine basins in the Dongying depression [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2003, 25(2): 143-148]
- 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 东营凹陷沙四段中部盐湖相烃源岩研究 [J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 257-266 [Zhu Guangyou

Jin Qiang, Dai Jinxing *et al.* 2004. Investigation on the salt lake source rocks for middle Shasi Column of Dongying depression[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10 (2): 257-266]

19 陈中红, 查明. 东营凹陷波动古湖相烃源岩沉积特征[J]. 湖泊科

学, 2006, 18(1): 19-25[Chen Zhonghong, Zha Ming. Sedimentary characteristics of source rocks in fluctuation from lake facies[J]. Journal of Lake Science, 2006, 18(1): 19-25]

Mineral Elemental Response to the Evolution of Terrestrial Brine Faulted-basin a case study in the Paleogene of Well Haoke-1, Dongying Sag

CHEN Zhong-hong ZHA Ming JIN Qiang
(China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

Abstract In order to investigate the relation between the distribution of mineral elements and sedimentary environment including the salinity and depth of water body, and the evolution of lake-basin, emission spectrograph of inductive coupling plasma was used to intensively testing and dissection the content of mineral elements in the deep depth of the Paleogene from the Well Haoke-1 in Dongying sag. The involved formation contained the Member 3, Member 4 of Shahejie Formation and Kongdian Formation, in which the main source rocks distributed. The results demonstrate that in the oxidized sedimentary environment of shallow shore-lacustrine the content of Sr, Ca and the parameters of Ca/Mg, Sr/Ba, Sr/Ca have low value response; the content of Fe, Al, Ba, V and the parameter of $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ have high value response; in the brine-lake sedimentary environment the content of Mn, Ba, V and the parameters of V/Ni, $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ have low value response; the content of Sr, Na and the parameters of Sr/Ba, Fe/Mn, Sr/Ca have high value response; in the reductive brackish sedimentary environment of half-deep lacustrine lake the content of K, Na, Fe and the parameters of Fe/Mn have low value response; the content of Ca, Mn have high value response. In the co-sedimentary environment of saline deposit and mud of the middle part of Sha-4 Formation, the distribution of mineral elements has obvious characteristics of discretion and fluctuation. Sr/Ba, Sr/Ca have obvious high value response in the saline lake and are verified to be good parameters for salinity of water-body. The parameters of Fe/Mn and $(Fe+Al)/(Ca+Mg)$ are approved to be good parameters for the depth of water-body and their value increased with deepening of water-body. The parameters above-mentioned should be applied and synthetically analyzed to determine characteristics of geological factors for the parameters were influenced by many geological factors including sedimentary environment and lithologic character.

Key words response of mineral element, ratio of mineral element, evolution of basin, brine lake, Dongying Sag