

# 东营凹陷沙四段上部泥质烃源岩元素地球化学及其古盐度的空间差异性

钱焕菊<sup>1</sup>, 陆现彩<sup>1</sup>, 张雪芬<sup>1</sup>, 张林晔<sup>2</sup>, 刘庆<sup>2</sup>

(1. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏南京 210093; 2. 胜利油田地质科学研究所, 山东东营 257015)

**摘要:** 东营凹陷第三系沙河街组四段上部为一套优质烃源岩系。通过分析烃源岩系典型元素和元素比值的变化特点, 对沙四段上部沉积时期沉积水体的古盐度进行了研究。利用聚类分析方法, 研究区分出3类具有不同元素地球化学特征的样品, 结合 Sr/Ba、Sr/Ca、Fe/Mn 和 Sr/Cu 值对沙四段上部沉积时期的古盐度进行空间划分, 结果表明沙四段上部沉积时期, 研究区处于相对干旱的气候条件, 但沉积水体的盐度存在空间差异性, 从古湖盆的边缘到中心盐度呈升高趋势, 湖盆北部盐度较低。这一认识将有助于分析该区有效烃源岩的分布和形成机制。

**关键词:** 古盐度; 沙四段上部; 元素地球化学; 聚类分析; 东营凹陷

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)02-0161-08

## Spatial paleosalinity distribution and element geochemistry of argillaceous source rocks in the upper part of 4<sup>th</sup> Member of Tertiary Shahejie Formation in Dongying Sag

QIAN Huan-ju<sup>1</sup>, LU Xian-cai<sup>1</sup>, ZHANG Xue-fen<sup>1</sup>, ZHANG Lin-ye<sup>2</sup> and LIU Qing<sup>2</sup>

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Geological Science Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257015, China)

**Abstract:** The upper part of 4<sup>th</sup> Member of Tertiary Shahejie Formation in Dongying Sag is composed of a set of high quality source rocks. The variation of element content and the typical element ratios generally record the characteristics of sedimentary environment. In this paper, the paleosalinity of the upper part of 4<sup>th</sup> Member was studied on the basis of a geochemical analysis of trace elements, and three assemblies of source rocks with different geochemical characteristics were distinguished by means of cluster analysis. With the ratios of Sr/Ba, Sr/Ca, Fe/Mn and Sr/Cu, the samples of the upper part of 4<sup>th</sup> Member were assigned to three groups with different paleosalinities. It is indicated that the upper part of 4<sup>th</sup> Member of the Shahejie Formation was deposited under a comparatively dry weather condition. Nevertheless, the lacustrine salinity evidently increased from the shallow water near the lake brim to deep water at the lake center. Interestingly, the salinity of the northern sag is much lower, which may be attributed to the high riverine input from the Chenjiazhuang-Qingtuozhi highland. These findings will highlight the studies of high-quality lacustrine source rocks in the study area.

**Key words:** paleosalinity; the upper part of 4<sup>th</sup> Member; element geochemistry; cluster analysis; Dongying Sag

东营凹陷是典型的中、新生代断陷-拗陷湖盆,古近系沙河街组发育了沙四段上部和沙三段下部泥质生油岩系(曾溅辉等,1998;武法东等,1998)。前人研究表明,沙四段上部形成于盐湖-咸水湖环境,为灰色泥岩夹泥灰岩、砂岩、油页岩,在凹陷中心部位深部见有条带状膏岩沉积(王秉海等,1992;吴崇筠等,1993)。前人对东营凹陷泥质烃源岩的组合特征、沉积体系、油气地球化学和排烃行为等方面均做了深入的研究。研究表明不同沉积时期不同湖盆类型盐度不同,是造成生烃潜力差异的原因之一(刘庆等,2004;张海峰等,2005;张林晔等,2005);并根据元素含量及元素比值的变化研究了不同沉积时期烃源岩沉积环境、古盐度的旋回性(宋明水,2005),为油气勘探提供了依据。大量研究表明,烃源岩中元素的含量受物源、古气候和古环境的极大影响,因此泥岩中元素含量及元素比值在一定程度上指示着沉积环境和古气候特征(Armstrong-Altrin *et al.*, 2004; Paikaray *et al.*, 2008),如 Sr/Cu、Fe/Mn、Mg/Ca 等常用来反映古气候特征(王随继等,1997;宋明水,2005),Sr/Ba、Sr/Ca、Fe/Mn、Sr/Cu 常用来指示古盐度的变化(李成凤等,1988;孙镇城等,1997;Stephens *et al.*, 1999)。通过分析上述元素比值的空间变化规律,可以探讨同一沉积时期同一湖盆的盐度在空间上存在的差异,而有关工作目前还鲜有涉及。本文应用聚类分析方法,通过烃源岩样品元素含量及元素比值,研究东营凹陷沙四段上部沉积时期的古气候特征,并将沙四段上部的烃源岩分成盐度不同的3类,对区分不同的沉积成岩水体环境具有重要意义,而且对判断湖泊水体类型和了解生油岩系的发育情况极有帮助。

## 1 样品及分析方法

在进行细致的地层对比基础上,选取东营凹陷沙河街组沙四段上部蓝灰色泥岩段之上的纹层状泥质烃源岩样品23件,这些样品取自不同地理位置的20口钻孔,基本覆盖了整个湖盆。由于蓝灰色泥岩是遍布东营凹陷的稳定层段,具有等时性,是进行地层划分的标志层(王秉海等,1992),本文研究的泥岩均为紧邻该层段的上覆纹层状灰质泥岩,可视作具有等时性。

将样品在玛瑙碾钵内研磨,过200目筛后,在南

京大学地球科学系国家重点实验室做 ICP-AES (JY 38 S 型单道扫描型高频率电感耦合等离子直读光谱仪)分析,得到常量元素和微量元素的含量(表1)。

## 2 分析结果

### 2.1 元素地球化学特征

沙四段上部纹层状泥岩的元素含量及元素比值指标见表1。Sr/Ba、Sr/Ca、Fe/Mn、Sr/Cu 常用来指示古盐度的变化,Sr/Cu、Fe/Mn、Mg/Ca 常用来反映古气候特征。综观东营凹陷沙四段上部泥岩元素变化规律(表1),Sr/Ba 平均值为3.38,变化范围为0.98~15.38,除DY-1为0.98外,其他样品的Sr/Ba都大于1.00;Sr/Ca 平均值为0.0158,变化范围0.0078~0.0389;Sr/Cu 平均值为24.22,变化范围为2.44~121.05,绝大部分样品Sr/Cu值都大于5.00;Fe/Mn 平均值为23.94,变化范围为3.47~98.73;Mg/Ca 平均值为0.17,变化范围为0.01~0.48。

### 2.2 聚类分析

首先对9个常量元素和14个微量元素的含量进行z标准化(z为实验值与均值之差除以标准差),消除变量间的量纲差异。然后对标准化数据进行Q型聚类分析(Clare *et al.*, 2001),选取的距离测度法为欧式距离平方,聚类方法为最远邻法,距离系数为6时,样品聚为3类(图1)。3类样品的微量元素含量和元素比值指标呈现出一定的变化规律,Sr/Ba、Sr/Ca、Fe/Mn、Sr/Cu 的差异尤为明显。

第Ⅰ类:Sr/Ba 平均值为1.90,除样品DY-13的Sr/Ba值为2.68之外,其他样品Sr/Ba值在0.98~2.63之间;Sr/Ca 平均值为0.0145,除个别样品外Sr/Ca值小于0.0140;Fe/Mn 平均值为51.24,除DY-2外Fe/Mn值都大于18.24,大部分高于40;Sr/Cu 平均值为12.78。第Ⅱ类:Sr/Ba 平均值为2.87,DY-3的Sr/Ba值为1.32,其他样品Sr/Ba值在2.79~3.77之间;Sr/Ca 平均值为0.0178,除了DY-15,Sr/Ca值在0.0100~0.0150之间;Fe/Mn 平均值为16.21,Sr/Cu 平均值为12.73。第Ⅲ类:Sr/Ba 平均值为7.37,分布范围为4.23~15.38;Sr/Ca 平均值为0.0199,除了DY-21外,其他样品Sr/Ca都大于0.0150;Fe/Mn 平均值为16.48,Sr/Cu值较高,平均值为58.46。

表 1 东营凹陷沙四段上部泥质烃源岩常量 ( $w_B/\%$ ) 和微量元素 ( $w_B/10^{-6}$ ) 分析结果  
 Table 1 Major ( $w_B/\%$ ) and trace elements ( $w_B/10^{-6}$ ) of mudstone from the upper part of 4<sup>th</sup> Member in Dongying Sag

样品 编号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Mo	Zn	Pb	Co	Ni	Ba	Mn	Cr	V	Nb	Be	Cu	Se	Sr	Mg/Ca	Fe/Mn	Sr/Ba	Sr/Ca	Sr/Cu
DY-1	42.38	0.58	12.06	3.62	1.83	13.14	1.80	2.20	0.25	20.23	0.47	73.61	52.00	14.62	45.05	839.70	292.50	79.53	83.28	12.03	1.23	98.37	11.83	819.90	0.12	86.63	0.98	0.0087	8.33
DY-2	47.38	0.63	14.36	2.51	2.48	6.90	0.85	2.35	0.15	18.00	0.60	69.17	25.04	10.19	34.33	679.50	2083.00	96.94	116.40	17.12	1.97	61.91	13.27	735.00	0.30	8.43	1.08	0.0149	11.87
DY-3	40.29	0.47	10.14	1.71	3.86	12.44	0.94	1.64	0.30	24.27	0.41	110.80	31.43	10.18	30.23	522.90	766.60	53.12	99.71	12.54	1.47	283.50	10.22	690.90	0.26	15.61	1.32	0.0078	2.44
DY-4	51.36	0.51	14.05	2.81	1.52	6.60	0.85	2.19	0.18	18.46	0.13	59.47	28.94	12.39	40.13	487.00	415.40	61.53	88.21	15.05	1.42	85.33	10.38	729.90	0.19	47.35	1.50	0.0155	8.55
DY-5	38.15	0.49	11.22	2.00	2.07	17.58	0.69	1.75	0.18	23.29	0.39	90.75	30.57	8.83	35.31	652.50	637.60	78.21	75.58	16.07	1.48	118.00	9.95	1053.00	0.10	21.96	1.61	0.0084	8.92
DY-6	41.70	0.62	15.38	4.66	4.48	4.89	0.74	3.59	0.19	19.08	0.07	53.57	35.71	11.40	43.78	460.70	563.50	76.27	129.40	16.67	1.87	77.18	11.14	853.90	0.48	57.89	1.85	0.0152	11.06
DY-7	39.26	0.58	12.40	4.54	4.00	9.57	1.22	2.17	0.15	24.40	0.09	73.72	25.24	11.49	44.36	767.40	612.90	62.95	109.50	14.02	1.31	92.45	12.99	1535.00	0.35	51.85	2.00	0.0225	16.60
DY-8	48.48	0.54	13.48	2.33	1.93	9.73	0.64	2.06	0.18	18.36	0.08	80.79	22.73	9.65	31.41	495.90	894.20	83.23	102.30	16.99	1.86	80.36	12.10	1023.00	0.17	18.24	2.06	0.0147	12.73
DY-9	43.91	0.50	12.82	5.68	2.27	7.36	1.07	2.26	0.17	22.71	1.30	75.70	30.64	15.53	62.88	335.00	402.70	63.89	133.00	18.12	1.36	78.98	11.52	691.40	0.26	98.73	2.06	0.0132	8.75
DY-10	40.22	0.61	12.72	3.52	4.06	7.38	3.12	2.39	0.24	20.72	1.29	38.02	33.42	18.77	60.13	239.70	326.60	70.03	142.90	17.34	1.82	77.68	9.47	575.30	0.46	46.79	2.40	0.0109	7.41
DY-11	43.61	0.57	12.39	4.30	2.52	11.37	1.28	2.07	0.15	19.92	0.32	58.88	27.16	10.47	38.18	498.70	685.20	57.27	94.11	13.71	1.36	63.22	10.69	1306.00	0.19	43.93	2.62	0.0161	20.66
DY-12	41.26	0.48	9.60	1.86	2.67	15.44	1.18	2.13	0.17	22.54	0.41	141.70	27.09	10.06	40.41	457.60	902.30	50.50	77.96	12.42	1.06	284.20	8.09	1202.00	0.15	14.43	2.63	0.0109	4.23
DY-13	48.06	0.55	13.84	3.47	1.14	11.56	0.55	2.49	0.31	16.71	0.61	71.29	28.46	10.23	45.34	605.30	296.90	70.13	66.56	16.57	1.66	63.09	11.79	1623.00	0.08	81.81	2.68	0.0197	25.73
DY-14	36.71	0.29	6.69	1.47	2.00	22.64	0.74	0.97	0.19	26.82	0.34	89.01	22.23	6.31	26.37	507.70	935.20	32.56	61.24	9.77	0.94	216.50	6.65	1418.00	0.07	11.00	2.79	0.0088	6.55
DY-15	32.56	0.41	6.16	3.16	6.08	6.23	0.63	1.40	0.15	26.35	0.29	136.00	23.84	9.66	27.55	557.00	994.00	46.53	60.00	12.55	1.32	65.32	9.53	1729.00	0.13	22.25	3.10	0.0389	26.47
DY-16	31.62	0.40	9.73	1.46	2.63	22.69	0.55	1.81	0.10	26.68	0.26	57.64	26.02	9.06	26.32	610.20	2114.00	44.29	89.83	12.12	1.32	128.90	8.70	1949.00	0.10	4.83	3.19	0.0120	15.12
DY-17	32.84	0.42	10.67	2.98	3.28	20.09	0.65	1.66	0.14	26.03	0.27	56.77	22.37	7.12	29.17	587.20	764.70	50.99	85.47	12.59	1.23	52.86	9.97	1943.00	0.14	27.28	3.31	0.0135	36.76
DY-18	30.76	0.42	8.53	1.83	1.96	9.10	1.02	1.61	0.10	23.12	0.47	74.44	24.32	9.87	28.78	563.90	708.80	68.70	80.20	13.99	1.32	65.31	9.42	2125.00	0.18	18.07	3.77	0.0327	32.54
DY-19	14.78	0.15	3.51	1.06	1.19	42.88	0.09	0.59	0.15	34.97	0.10	43.12	12.97	3.94	18.95	157.30	449.10	23.50	46.59	6.48	0.44	67.77	3.63	2419.00	0.02	16.52	15.38	0.0179	35.69
DY-20	18.58	0.21	4.75	0.44	1.77	38.86	0.12	0.79	0.16	32.99	0.27	59.20	18.81	5.47	16.53	457.80	888.30	28.35	67.21	8.72	0.79	192.10	4.03	2264.00	0.04	3.47	4.95	0.0182	11.79
DY-21	17.27	0.18	3.98	1.52	5.17	36.01	0.11	0.67	0.11	34.59	0.30	36.66	13.40	4.93	18.11	782.80	548.80	24.64	84.22	8.00	0.57	47.74	4.74	3312.00	0.12	19.39	4.23	0.0129	69.38
DY-22	11.38	0.11	2.60	0.36	0.82	46.41	0.08	0.49	0.09	36.82	0.06	48.27	10.53	4.31	16.71	1097.00	475.70	19.02	30.53	5.64	0.38	144.80	2.78	7880.00	0.01	5.30	7.18	0.0238	54.42
DY-23	21.28	0.27	6.72	1.90	0.96	36.45	0.13	1.24	0.12	29.91	0.71	43.74	22.94	7.92	30.01	1371.00	352.60	38.68	62.19	12.54	0.78	57.92	6.58	7011.00	0.02	37.72	5.11	0.0269	121.05
平均	35.38	0.43	9.90	2.57	2.64	18.19	0.83	1.76	0.17	24.65	0.40	71.41	25.91	9.54	34.26	597.12	752.63	55.69	86.36	13.09	1.26	108.85	9.11	1951.67	0.17	23.94	3.38	0.0158	24.22

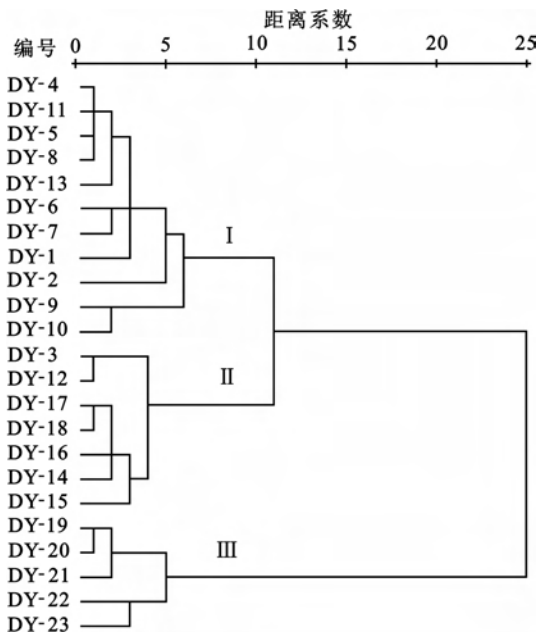


图1 Q型聚类分析树状图

Fig. 1 Dendritic plot of Q-cluster analysis

### 3 讨论

#### 3.1 古气候特征

虽然沉积岩的微量元素含量会受到物源和成岩作用等因素的影响,但是其依然可以显示古气候、古环境的信息,某些元素甚至常用作古环境研究的指标(Bhatia *et al.*, 1986; 谭红兵等, 1999; Worash Getaneh, 2002)。在前人古湖泊研究的基础上,选取 Sr/Cu、Fe/Mn、Mg/Ca 3 个元素比值作为古气候指标。东营凹陷沙四段上部盐湖、东濮凹陷沙三段盐湖和

江汉盆地潜江组盐湖均有“高山深盆”的地貌特征,为深水成因模式(金强等, 1985; 袁静等, 2000; 张永生等, 2003)。本文将东营凹陷沙四段上部样品几种元素比值的平均值和变化范围,与东濮凹陷沙三段样品、江汉盆地潜江凹陷潜江组样品元素比值的平均值和变化范围进行了对比(表2)。对比显示,东营凹陷沙四段上部泥岩中 Sr/Cu 值与东濮凹陷沙三段沉积的泥页岩、博兴凹陷沙四段上部泥岩中 Sr/Cu 的平均值相近; Fe/Mn 值与东濮凹陷沙三段沉积的泥岩、油页岩中的平均值相差不大; Mg/Ca 值与潜江盆地潜江凹陷古近系潜江组 Mg/Ca 平均值接近。Sr/Cu 值介于 1.3 ~ 5.0 之间通常指示温湿气候,而大于 5.0 则指示干热气候(莱尔曼, 1989; 王随继等, 1997; 宋明水, 2005)。东营凹陷沙四段上部泥岩中 Sr/Cu 值与东濮凹陷沙三段沉积的泥页岩、鲁西隆起博兴洼陷沙四段上部泥岩中的 Sr/Cu 平均值都很接近,表明东营凹陷沙四段上部沉积时期与东濮凹陷沙三段、鲁西隆起博兴洼陷沙四段上部沉积时期具有相似的气候条件,并且东营凹陷沙四段上部泥岩中的 Sr/Cu 值绝大部分大于 5.0,可以判断该沉积时期为相对干旱的气候条件,这一认识与李守军等(2003)开展的孢粉学研究得到的结论基本一致。Mn 在湖水中常以  $Mn^{2+}$  稳定存在,只有当湖水强烈蒸发而使  $Mn^{2+}$  浓度饱和时,才会大量沉淀,从而在岩石中显示高值; Fe 在潮湿环境中易以  $Fe(OH)_3$  胶体快速沉淀,因而沉积物中 Fe/Mn 的高值对应温湿气候,低值是干热气候的响应(孙镇城等, 1997; 王随继等, 1997)。从 Fe/Mn 值同样可以得到东营凹陷沙四段上部沉积时期与东濮凹陷沙三段沉积时期气

表2 东营凹陷沙四段上部泥岩与相似岩系的地球化学特征对比

Table 2 Comparison of element geochemical characteristics between the upper part of 4<sup>th</sup> Member in Dongying Sag with similar lithologic sequence

样品	Sr/Cu	Fe/Mn	Mg/Ca	资料来源
东营凹陷沙四段上部泥岩	$\frac{24.22(23)}{2.44 \sim 121.05}$	$\frac{13.94(23)}{3.47 \sim 98.73}$	$\frac{0.17(23)}{0.01 \sim 0.48}$	本文
东濮凹陷沙三段泥岩、油页岩	$\frac{23.6(4)}{12.1 \sim 29.8}$	$\frac{26.5(4)}{21.3 \sim 49.7}$		金强等(1985)
江汉盆地潜江凹陷古近系潜江组盐岩			$\frac{0.24(3)}{0.19 \sim 0.30}$	张永生等(2003)
鲁西隆起博兴洼陷沙四段上部泥岩	$\frac{23.6(3)}{2.91 \sim 48.2}$			韩登林等(2007)

注:分式的意义为  $\frac{\text{平均值(样品个数)}}{\text{变化范围}}$ 。

候条件的相似性。 $Mg/Ca$  的高值指示干旱的气候条件,低值指示潮湿的气候条件(邓宏文等,1993),东营凹陷沙四段上部泥岩与江汉盆地潜江凹陷潜江组盐岩的  $Mg/Ca$  平均值相似,说明了两处沉积时期气候条件的相似性。这种相似性是因为燕山褶皱带形成后,在区域引张应力作用下形成包括渤海湾盆地在内的一系列沉积盆地的同时,大陆边缘弧形山系阻止了古太平洋潮湿气流入侵,使中国东部形成了半干旱-半潮湿气候(金强等,1985;袁静等,2000)。

### 3.2 沉积环境水的盐度特征

$Sr/Ba$  比值上升反映湖泊盐度升高,在淡水湖泊中  $Sr$ 、 $Ba$  均以重碳酸盐的形式保留在湖水中;因为  $Sr$  比  $Ba$  迁移能力强,当湖水不断咸化, $Ba$  首先以碳酸盐矿物沉淀下来,而  $Sr$  只有当湖水浓缩到一定程度后才会产生沉淀,因此可以利用  $Sr/Ba$  值作为判断古盐度的标志(Drummond,1993;Raiswell *et al.*, 1998;游海涛等,2002;王敏芳等,2005;薛传东等,2007;刘刚等,2007)。 $Sr/Ca$  值对盐度的变化也非常灵敏,入湖河流中  $Ca^{2+}$  的碳酸盐(或硫酸盐)溶解度相对较小,在早期阶段即沉淀析出,而  $Sr$  的碳酸盐溶解度相对较大,往往在  $Ca^{2+}$  沉淀之后湖水继续浓缩才会析

出,故其比值上升意味着湖泊盐度增加(Drummond, 1993;宋明水,2005)。 $Fe/Mn$  高值指示低盐度的水体环境; $Sr/Cu$  比值升高表明湖泊盐度升高( $Fe/Mn$ 、 $Sr/Cu$  的指示意义已在上节中做了详细的陈述,这里就不再重复)。沙四段上部泥质岩石中普遍存在多期碳酸盐矿物,成岩碳酸盐和原生碳酸盐矿物的化学组成变化较大,甚至出现大量的成岩白云石和晚期充填微裂隙的方解石,岩石中的  $Mg$  含量受下渗流体的影响很大(陆现彩等,1998),因此, $Mg/Ca$  很难作为有效的古盐度指标。本次研究也发现该比值与其他指标之间基本不存在对应关系,所以本文不再讨论其变化特征。

沙四段上部泥质烃源岩,不同位置的  $Sr/Ba$ 、 $Sr/Ca$ 、 $Fe/Mn$ 、 $Sr/Cu$  值有明显的差别(表3)。从第 I 类样品到第 III 类样品, $Sr/Ba$ 、 $Sr/Ca$  和  $Sr/Cu$  值呈升高的趋势,第 I 类样品  $Fe/Mn$  明显高于第 II、III 类样品,这些差别与聚类分析的结果是一致的。在空间上,这 3 类样品是从湖盆边缘向中心依次分布的,说明沙四段上部沉积时期从湖盆边缘到中心盐度呈逐渐升高的趋势,湖盆北部盐度较低(图 2)。

影响湖泊水体盐度分布的主要因素有分层卤水

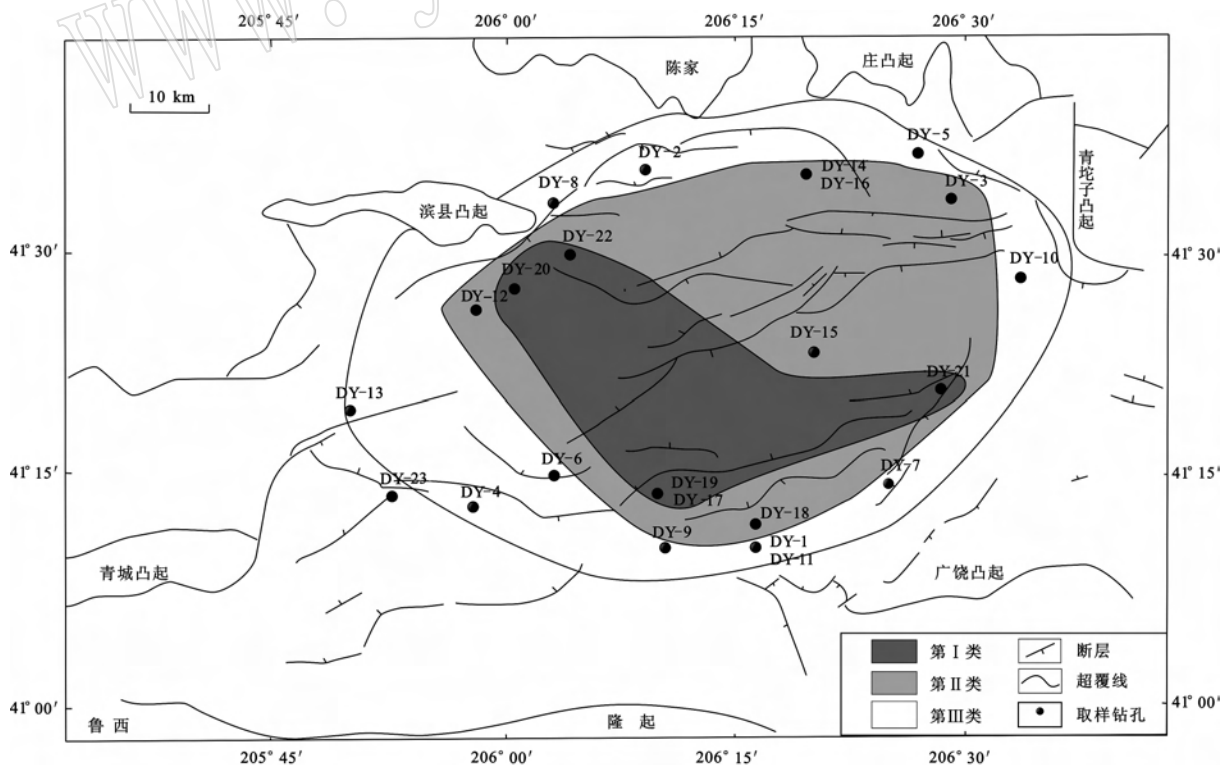


图 2 东营凹陷沙四段上部泥质烃源岩类型的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of source rocks of the upper part of Member 4 in Dongying Sag

表3 东营凹陷沙四段上部泥质烃源岩古盐度指标

Table 3 Paleosalinity indexes of source rocks of the upper part of 4<sup>th</sup> Member in Dongying Sag

类别	Sr/Ba	Sr/Ca	Fe/Mn	Sr/Cu
I	$\frac{1.90(11)}{0.98 \sim 2.68}$	$\frac{0.0145(11)}{0.0084 \sim 0.0225}$	$\frac{51.24(11)}{8.42 \sim 98.73}$	$\frac{12.78(11)}{7.41 \sim 25.73}$
II	$\frac{2.87(7)}{1.32 \sim 3.77}$	$\frac{0.0178(7)}{0.0078 \sim 0.0389}$	$\frac{16.21(7)}{4.83 \sim 27.28}$	$\frac{17.73(7)}{2.44 \sim 36.76}$
III	$\frac{7.37(5)}{4.23 \sim 15.38}$	$\frac{0.0199(5)}{0.0129 \sim 0.0269}$	$\frac{16.48(5)}{3.47 \sim 37.42}$	$\frac{58.46(5)}{11.79 \sim 121.05}$

注:分式的意义为  $\frac{\text{平均值(样品个数)}}{\text{变化范围}}$ 。

和陆源输入。分层卤水是深水成盐的物质基础(袁见奇等,1983):往往表现为下部是卤水、上部是微咸水的分层现象(袁静等,2000;刘庆等,2004;田继军等,2008),在沙四段上部沉积时期,盆地持续沉降,含盐度高的水汇集在湖盆中部。东营凹陷北部陡坡带坡度大,沉积物供给量大,相对湖平面略有下降就产生河流下切作用,切割冲蚀物顺着陡坡直接入湖,扰乱了湖泊的分层现象,河流输入的淡水影响范围大。而此时南坡(缓坡)及盆地其他部位则不显著(张荣红等,1997;张海峰等,2005)。

## 4 结论

(1) 沙四段上部泥岩的元素地球化学指标表明,东营凹陷沙四段上部沉积时期为相对干旱的气候条件。与东濮凹陷沙三段泥岩油页岩、江汉盆地潜江凹陷古近系潜江组盐岩、鲁西隆起博兴凹陷沙四段上部泥岩具有相似性。

(2) Sr/Ba、Sr/Ca、Fe/Mn 和 Sr/Cu 比值的空间变化和聚类分析结果表明,沙四段上部沉积时期,从湖盆的边缘到中心盐度呈逐渐升高的趋势,湖盆北部盐度较低。

## References

Armslterong-Altrin J S and Yong Il Lee. 2004. Geochemistry of sandstone from the upper Miocene Kudankulam formation, southern India: implication for provenance, weathering, and tectonic setting[J]. Journal of Sedimentary Research, 74:285 ~ 297.

Bhatia M R and Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 192:181 ~ 193.

Clare A P and Cohen D R. 2001. A comparison of unsupervised neural networks and k-means clustering in the analysis of multi - element stream sediment data[J]. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 1:119 ~ 134.

Deng Hongwen and Qian Kai. 1993. Sedimentary Geochemistry and Environment Analysis [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Publishing House, 45 ~ 113 (in Chinese).

Drummond C N. 1993. Effect of regional topography and hydrology on the lacustrine isotopic record of Miocene paleoclimate in the Rocky Mountains[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 101(1):67 ~ 79.

Han Denglin, Li Zhong, Li Shuangying, *et al.* 2007. Geochemical characteristics of paleogene mudstone in the Boxing Sag north of the west Shandong Rise and their tectonic implications[J]. Chinese Journal of Geology, 42(2):678 ~ 689 (in Chinese with English abstract).

Jin Qiang and Huang Xinghan. 1985. Study on the origin of the early Tertiary salt lake Dongpu depression—A postulated deep water model [J]. Journal of East China University of Petroleum, 1:1 ~ 13 (in Chinese with English abstract).

Lerman A. 1989. Chemical Geology and Physics of Lake [M]. Beijing: Geological Publishing House, 197 ~ 236 (in Chinese).

Li Chengfeng and Xiao Jifeng. 1988. The application of trace element to the study on paleosalinities in Shahejie Formation of Dongying Basin Shengli Oil field[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 6(1):100 ~ 107 (in Chinese with English abstract).

Li Shoujun, Wang Mingzhen, Zheng Deshun, *et al.* 2003. Recovery of climate of palaeogene in Jiyang Depression of Shandong [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 22(3):6 ~ 9 (in Chinese with English abstract).

Liu Gang and Zhou Dongsheng. 2007. Application of microelements analysis in identifying sedimentary environment-taking Qianjing Formation in the Jiangnan Basin as an example[J]. Petroleum Geology and Experiment, 29(3):307 ~ 314 (in Chinese with English abstract).

Liu Qing, Zhang Linye, Shen Zhongmin, *et al.* 2004. Evolution of lake - basin types and occurrence of hydrocarbon source rocks in Dongying Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 25(4):42 ~ 45 (in Chinese with English abstract).

Lu Xiancai, Hu Wenxuan, Fu Qi, *et al.* 1998. Study of salinity evolution of geofluids during syngensis and diagenesis using composition of Carbonate minerals[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(1):121 ~ 126 (in Chinese with English abstract).

Paikaray S and Banerjee S. 2008. Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implication on provenance, tectonics and paleoweathering [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 32:34 ~ 48.

Raiswell R and Buckley F. 1988. Degree of pyritization of iron as a palaeoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 58(5):812 ~ 819.

Song Mingshui. 2005. Sedimentary environment geochemistry in the Shasi section of Southern Ramp, Dongying Depression [J]. Mineral Petrol., 25(1):67 ~ 73 (in Chinese with English abstract).



- Stephens N P and Carrol A R. 1999. Salinity stratification in the Permian Phosphoria sea: a proposed paleoceanographic model [J]. *Geology*, 27(10):899~902.
- Sun Zhencheng, Yang Fan, Zhang Zhihuan, *et al.* 1997. Sedimentary Environment and Oil Generation of the Cenozoic Era in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 115~133 (in Chinese).
- Tan Hongbing and Yu Shengsong. 1999. Present situation and future development of elemental geochemistry in the study of lake sediments' evolution [J]. *Journal of Saltlake Research*, 7(3):58~65 (in Chinese with English abstract).
- Tian Jijun, Jiang Zaixing and Chen Zhenlin. 2008. Diagenetic features and distribution of high-porosity zones in lower Xingouzi Formation of Jiangling depression [J]. *Acta Petrologica et Mineralogical*, 27(1):39~44 (in Chinese with English abstract).
- Wang Binghai and Qian Kai. 1992. Geology Research and Exploration Practice in the Shengli Petroleum Province [M]. Dongying: University of Petroleum Press, 1~20 (in Chinese).
- Wang Minfang, Jiao Yangquan, Wang Zhenghai, *et al.* 2005. Recovery paleosalinity in sedimentary environment——an example of mudstone in Shuixigou group, southwestern margin of Turpan-Hami basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 26(6):719~722 (in Chinese with English abstract).
- Wang Suiji, Huang Xingzhen, Tuo Jincai, *et al.* 1997. Evolutional characteristics and their paleoclimate significance of trace elements in the Hetaoyuan Formation, Biyang Depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 15(1):65~70 (in Chinese with English abstract).
- Worash Getaneh. 2002. Geochemistry provenance and tectonic setting of the Adigrat sandstone northern Ethiopia [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 35:185~198.
- Wu Chongjun and Xue Shuhao. 1993. Sedimentary of Oil Basin in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 157 (in Chinese).
- Wu Fadong, Chen Jianyu, Liu Congyin, *et al.* 1998. Tertiary sequence stratigraphic framework and sedimentary system types in Dongying Depression [J]. *Geoscience*, 12(4):559~566 (in Chinese with English abstract).
- Xue Chuandong, Liu Xing, Qi Chunying, *et al.* 2007. Element geochemical characteristics of modern sediments in the Dianchi Lake, Kunming, and their environmental significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogical*, 26(6):582~590 (in Chinese with English abstract).
- You Haitao, Cheng Rihui and Liu Changling. 2002. Review of paleosalinity recovering methods [J]. *World Geology*, 21(2):111~117 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Jianqi, Huo Chengyu and Cai Keqin. 1983. The highmountain-deep basin saline environment a new genetic model of salt deposits [J]. *Geological Review*, 29(2):159~165 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Jing, Zhao Chenglin and Zhang Shanwen. 2000. Genetic model of the deep water salt lake of the Paleogene Sha-4 Member in Dongying Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(1):117~118 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Jianhui, Zheng Herong and Wang Ning. 1998. Pool forming dynamic property of lithological oil gas reservoirs in Dongying sag [J]. *Oil and Gas Geology*, 19(4):326~329 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Haifeng, Liu Qing, Zhang Linye, *et al.* 2005. Lacustrine basin evolution and favorable sedimentary facies belt for source rocks abounding in the Shahejie Formation of Paleogene in Dongying Sag, Shandong Province [J]. *Journal of Paleogeography*, 7(3):383~397 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Linye, Liu Qin and Zhang Chunrong. 2005. Study on the Genetic Relationships Between Hydrocarbon Occurrence and Pools Formation in Dongying Depression [M]. Beijing: Geological Publishing House, 9~10 (in Chinese).
- Zhang Ronghong, Yu Suyu and Wu Jinghua. 1997. The effect of sediments supply condition on sequence stratigraphy analysis in continental lacustrine basins [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(2):139~144 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yongsheng, Yang Yuqing, Qi Zhixian, *et al.* 2003. Sedimentary characteristics and environments of the salt-bearing series of Qianjiang Formation of the paleogene in Qianjiang Sag of Jiangnan Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 5(1):29~35 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 邓宏文, 钱凯. 1993. 沉积地球化学与环境分析 [M]. 兰州: 甘肃兰州科技出版社, 45~113.
- 韩登林, 李忠, 李双应. 2007. 鲁西隆起北侧博兴洼陷古近系泥岩地球化学特征及其构造意义 [J]. *地质科学*, 42(2):678~689.
- 金强, 黄醒汉. 1985. 东濮凹陷早第三纪盐湖成因的探讨——一种深水成因模式 [J]. *华东石油学院学报*, 1:1~13.
- 莱尔曼 A. 1989. 王苏民等译. 湖泊的化学地质学和物理学 [M]. 北京: 地质出版社, 197~236.
- 李成凤, 肖继凤. 1988. 用微量元素研究胜利油田东营盆地沙河街组的古盐度 [J]. *沉积学报*, 6(1):100~107.
- 李守军, 王明镇, 郑德顺, 等. 2003. 山东济阳拗陷古近纪的气候恢复 [J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 22(3):6~9.
- 刘刚, 周东升. 2007. 微量元素分析在判断沉积环境中的应用——以江汉盆地潜江组为例 [J]. *石油实验地质*, 29(3):307~314.
- 刘庆, 张林晔, 沈忠民, 等. 2004. 东营凹陷湖相盆地类型演化与烃源岩发育 [J]. *石油学报*, 25(4):42~45.
- 陆现彩, 胡文瑄, 符琦, 等. 1998. 利用碳酸盐矿物成份研究沉积-成岩过程中流体盐度演化——以东营凹陷沙四段低成熟油烃源岩为例 [J]. *沉积学报*, 16(1):121~126.
- 宋明水. 2005. 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*, 25(1):67~73.
- 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 1997. 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, 115~133.
- 谭红兵, 于升松. 1999. 我国湖泊沉积环境演变研究中元素地球化学的研究现状及发展方向 [J]. *盐湖研究*, 7(3):58~65.
- 田继军, 姜在兴, 陈振林. 2008. 江陵凹陷新沟咀组下段成岩特征及高孔隙带的分布规律 [J]. *岩石矿物学杂志*, 27(1):39~44.

- 王秉海,钱凯.1992.胜利油区地质研究与勘探实践[M].东营:石油大学出版社,1~20.
- 王敏芳,焦养全,王正海,等.2005.沉积环境中古盐度的恢复——以吐哈盆地西南缘水西沟群泥岩为例[J].新疆石油地质,26(6):719~722.
- 王随继,黄杏珍,妥进才,等.1997.泌阳凹陷核桃园组微量元素演化特征及其古气候意义[J].沉积学报,15(1):65~70.
- 吴崇筠,薛叔浩.1993.中国含油气盆地沉积学[M].北京:石油工业出版社,157.
- 武法东,陈建渝,刘葱印,等.1998.东营凹陷第三纪层序地层格架及沉积体系类型[J].现代地质,12(4):559~566.
- 薛传东,刘星,元春英,等.2007.滇池近代沉积物的元素地球化学特征及其环境意义[J].岩石矿物学杂志,26(6):582~590.
- 游海涛,程日辉,刘昌岭.2002.古盐度恢复法综述[J].世界地质,21(2):111~117.
- 袁见奇,霍承禹,蔡克勤.1983.高山深盆的成岩环境——一种新的成盐模式的剖析[J].地质评论,29(2):159~165.
- 袁静,赵澄林,张善文.2000.东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式[J].沉积学报,18(1):114~118.
- 曾溅辉,郑和荣,王宁.1998.东营凹陷岩性油气藏成藏动力学特征[J].石油与天然气地质,19(4):326~329.
- 张海峰,刘庆,张林晔,等.2005.山东东营凹陷古近系沙河街组湖盆演化及烃源岩赋存相带[J].古地理学报,7(3):383~397.
- 张林晔,刘庆,张春荣.2005.东营凹陷成烃与成藏关系研究[M].北京:地质出版社,9~10.
- 张荣红,余素玉,邬金华.1997.陆相湖盆中沉积物供给影响因素对层序地层分析的影响——以东营凹陷下第三系为例[J].地球科学,22(2):139~144.
- 张永生,杨玉卿,漆智先,等.2003.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,5(1):29~35.

www.yskw.ac.cn