

文章编号: 1001-1986(2012)03-0006-07

惠州凹陷 HZ21 钻孔珠江组地球化学特征及其沉积环境

余 焯¹, 张昌民¹, 张尚锋¹, 施和生², 杜家元^{1,2}

(1. 长江大学地球科学学院, 油气资源与勘探技术教育部重点实验室,
湖北 荆州 434023; 2. 中国海洋石油有限公司深圳分公司, 广东 广州 510240)

摘要: 根据 21 件碎屑岩样品的常量元素和微量元素相关关系、组分含量及某些元素的比值特征, 探讨了珠江口盆地惠州凹陷 HZ21 钻孔的元素地球化学特征与古环境意义。研究表明: Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 、V、Cr、Rb 相互间呈明显的正相关关系; SiO_2 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 呈明显负相关, 与 K_2O 呈弱相关关系; Sr 与 CaO 呈明显正相关关系; P_2O_5 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 呈明显的正相关, 与 SiO_2 呈明显的负相关, 且与 CaO 呈弱相关关系。据锶钙比值 $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ 和 V/Cr 值分析, HZ21 井珠江组从下往上水体有逐渐加深的趋势, 与单井沉积相分析结果一致。据镁铝比值 $10^2(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 Sr/Ba 值分析, 珠江组从下往上沉积环境的水体盐度变化不太大, 但到上部略有下降。古气候指示剂 Rb/Sr 值和 MgO/CaO 值显示, NSQ1 和 NSQ2 层序时期气候干燥寒冷, 而 NSQ3 和 NSQ4 这两个层序时期气候湿热。总之, 地球化学特征所反映的沉积环境与沉积相分析的结果相一致, 说明元素地球化学与沉积环境关系密切, 可作为沉积相判别的标志。

关键词: 珠江口盆地; 惠州凹陷; 珠江组; 地球化学特征; 沉积环境

中图分类号: P595 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.03.002

Geochemical characteristics and sedimentary environments of the Zhujiang Formation in well HZ21 at Huizhou depression

YU Ye¹, ZHANG Changmin¹, ZHANG Shangfeng¹, SHI Hesheng², DU Jiayuan^{1,2}

(1. School of Geoscience, MOE Key Laboratory of Oil and Gas Resource and Exploration Technology, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, China)

Abstract: This study discussed the sedimentary geochemistry characteristics and the palaeosedimentary environmental significance of the Zhujiang Formation in well HZ21 at Huizhou depression, Pearl River Mouth basin, on the basis of geochemical analyses of 21 rock samples. The results indicated: Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 、V、Cr and Rb remarkably were positively correlated with each other; SiO_2 was apparently negatively correlated with Al_2O_3 、 Fe_2O_3 and TiO_2 , and weakly negatively correlated with K_2O ; Sr and CaO positively correlated with each other; P_2O_5 positively correlated with Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O and TiO_2 , and negatively correlated with SiO_2 , and weakly negatively correlated with CaO. The analytic result of the value of $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ and V/Cr revealed that the depth of sedimentary water increased from bottom to top in the Zhujiang Formation of well HZ21, and the variation regularities were consistent with the conclusions of sedimentary facies. The analytic result of the value of $10^2(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ and V/Cr revealed that the salinity was similar from the bottom to the top of Zhujiang Formation, but decreased slightly in the top of Zhujiang Formation. Based on the characters of Rb/Sr and MgO/CaO , NSQ1 and NSQ2 were deposited in cool-dry climate condition, NSQ3 and NSQ4 were deposited in warm-wet climate condition. In summary, the geochemical characteristics and the sedimentary environment are closely correlated, and the geochemical characteristics can be regarded as a mark in the sedimentary facies recognition.

Key words: Pearl River Mouth basin; Huizhou depression; Zhujiang Formation; geochemical characteristics; sedimentary environments

收稿日期: 2011-05-19

基金项目: 国家科技重大专项课题(2008ZX05023-002); 中海油综合科研项目(Z2008SLSZ-100)

作者简介: 余 焯(1983—), 男, 湖南冷水江人, 博士研究生, 从事储层沉积学和层序地层学研究。

近年来,元素地球化学在理论和应用方面取得了迅速发展,成为近代地球化学研究不可缺少的一部分^[1-4]。特别是在揭示沉积盆地演化历史、沉积环境及沉积物物质来源等方面^[5-10],元素地球化学方法应用于实际研究的成果越来越多,也备受广大专家和学者的重视。为了研究惠州凹陷 HZ21 钻孔新近系珠江组地球化学特征及其沉积环境,本文根据沉积岩的常量元素、微量元素组分含量和某些特征元素的比值对此进行了探讨。

1 地质背景

珠江口盆地是我国南海北部最大的中生代沉积盆地,属被动大陆边缘断陷盆地,自北向南划分为北部隆起带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带等 5 个构造单元^[11-13]。惠州凹陷位于北部拗陷带中部,是南海东部海域最富烃的凹陷之一,其新近系珠江组是该区油气勘探的主要目的层。通过惠州凹陷沉积记录的研究表明,珠江组时期主要发育了一套三角洲-滨岸沉积,三角洲沉积主要发育在凹陷西北部和东部,而滨岸沉积主要发育在凹陷南部^[14-16]。

HZ21 井位于惠州凹陷南部靠东沙隆起北坡附近(图 1),根据地震反射及单井岩性特征,其珠江组自下而上划分为 5 个三级层序(图 2)。由于 NSQ5 未取心,未做元素分析,仅对 NSQ1 到 NSQ4 这 4 个层序进行介绍和探讨。NSQ1 以厚层中-细粒石英砂岩为主,岩层中可见平行层理、冲洗交错层理,含海绿石、云母,分选较好到中等,属前滨-临滨亚相;NSQ2 下部为砂岩和泥岩互层,见沙纹层理、交错层理,含介壳类化石、藻团块,上部以泥岩、粉砂质泥岩为主,属临滨-滨外陆棚亚相;NSQ3 以泥岩、粉砂质泥岩及泥质粉砂岩为主,岩层中可见水平层理、生物钻孔及扰动,含海绿石,为滨外陆棚沉积;NSQ4 为块状层理、水平层理泥岩,见生物钻孔及扰动,夹薄层状粉-细砂岩,属滨外陆棚沉积。

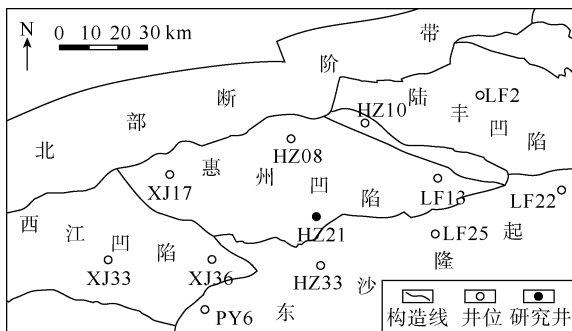


图 1 珠江口盆地惠州凹陷构造略图

Fig. 1 Structural outline of Huizhou depression in Pearl River Mouth basin

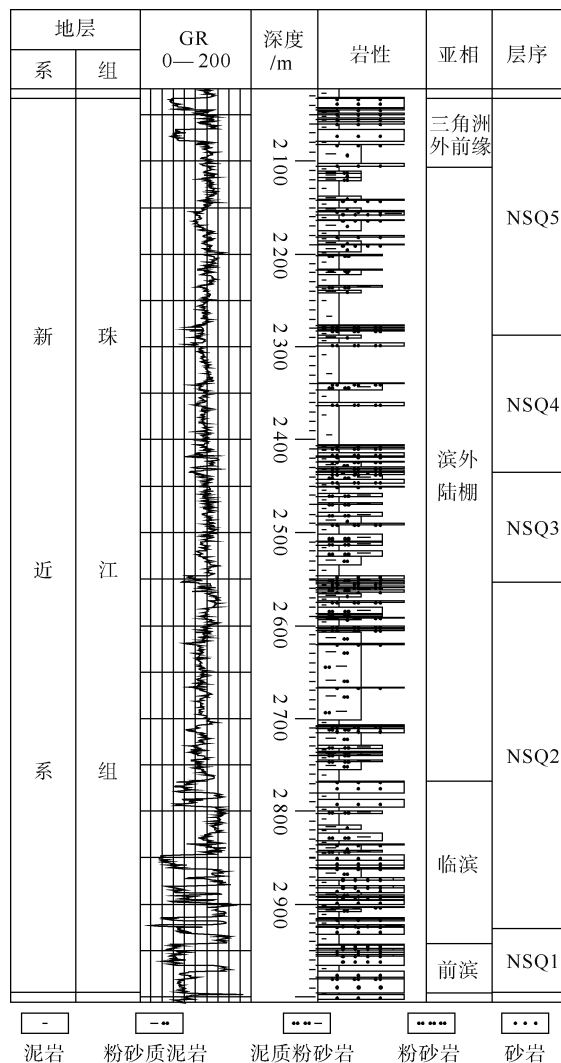


图 2 HZ21 井沉积相柱状图

Fig. 2 Columnar section of sedimentary facies in well HZ21

2 样品及分析

为了详细了解珠江组垂向上的沉积地球化学特征和沉积环境的变化,笔者自下而上在 HZ21 井剖面上采集了岩性样品 21 件,其中 NSQ1 层序 4 件,NSQ2 层序 10 件,NSQ3 层序 2 件,NSQ4 层序 5 件。样品处理及测试在同济大学海洋地质国家重点实验室完成,检测的元素有 Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Na、P、Ti、Si、V、Cr、Rb、Sr 和 Ba 等,测试数据见表 1。

3 地球化学特征

3.1 相关性分析

各元素含量主要受源区岩性、沉积环境及成岩作用的影响。为弄清楚各元素的富集机制及相互之间的关系,做了相关系数分析,结果见表 2。

a. Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 、V、Cr、Rb 相互间呈明显的正相关关系,主要赋存于泥质矿物中,

表 1 HZ21 井珠江组岩层地球化学分析数据
Table 1 Results of geochemical analyses of Zhujiang Formation

层位	样品号	岩性	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	V	Cr	Rb	Sr	Ba	10 ³ (Sr/Ca)	V/Cr	10 ⁻² (MgO/Al ₂ O ₃)	Sr/Ba	Rb/Sr	MgO/CaO	
NSQ4	21	泥岩	16.09	0.26	4.84	3.22	1.34	0.03	0.99	0.07	0.93	72.21	135.94	101.65	202.11	144.73	557.04	0.77	1.34	8.32	0.26	1.40	5.08	
	20	砂岩	7.65	0.33	2.63	2.72	0.33	0.01	0.67	0.04	0.30	85.32	59.37	44.39	166.61	99.00	432.78	0.42	1.34	4.37	0.23	1.68	1.02	
	19	砂岩	9.58	0.25	3.37	2.68	0.60	0.02	0.92	0.05	0.51	82.01	64.99	56.07	151.53	105.45	440.14	0.58	1.16	6.25	0.24	1.44	2.35	
	18	砂岩	6.96	0.19	2.55	2.28	0.39	0.01	0.58	0.03	0.35	86.67	51.80	40.77	132.43	77.44	781.86	0.58	1.27	5.56	0.10	1.71	2.06	
	17	砂岩	6.87	0.16	2.43	2.37	0.36	0.01	0.66	0.04	0.36	86.75	41.45	29.49	130.92	71.62	411.68	0.65	1.41	5.24	0.17	1.83	2.32	
平均值			9.43	0.24	3.17	2.65	0.60	0.02	0.76	0.05	0.49	82.59	70.71	54.48	156.72	99.65	524.70	0.60	1.30	5.95	0.20	1.61	2.57	
NSQ3	16	砂岩	7.46	0.19	2.23	2.30	0.48	0.01	0.94	0.04	0.50	85.85	40.32	48.17	121.34	95.51	471.30	0.71	0.84	6.46	0.20	1.27	2.56	
	15	砂岩	11.13	0.20	3.97	2.63	0.89	0.03	1.36	0.07	0.66	79.06	77.27	71.22	146.96	130.49	595.34	0.90	1.08	8.01	0.22	1.13	4.40	
	平均值			9.29	0.20	3.10	2.46	0.69	0.02	1.15	0.06	0.58	82.46	58.79	59.70	134.15	113.00	533.32	0.81	0.96	7.23	0.21	1.20	3.48
	14	泥岩	18.29	0.19	5.17	3.67	1.48	0.05	0.40	0.07	0.84	69.84	156.13	103.02	247.08	107.02	472.10	0.81	1.52	8.10	0.23	2.31	7.98	
	13	泥岩	16.12	0.37	5.12	3.29	1.66	0.07	0.46	0.11	0.90	71.91	147.24	96.73	217.58	111.72	426.50	0.42	1.52	10.28	0.26	1.95	4.49	
NSQ2	12	砂岩	12.45	0.12	2.83	2.88	0.80	0.01	0.45	0.05	0.76	79.63	110.46	81.49	199.95	89.36	445.04	1.01	1.36	6.46	0.20	2.24	6.49	
	11	泥岩	16.30	0.40	4.70	3.23	1.16	0.03	0.56	0.07	0.75	72.80	128.82	91.61	234.79	134.41	526.37	0.47	1.41	7.14	0.26	1.75	2.92	
	10	砂岩	3.40	8.84	2.45	1.43	4.88	0.09	0.15	0.03	0.08	78.66	45.77	44.49	94.31	147.86	460.48	0.02	1.03	143.55	0.32	0.64	0.55	
	9	砂岩	5.41	0.11	1.45	2.19	0.12	0.01	0.36	0.01	0.11	90.22	31.77	29.04	150.26	51.99	707.03	0.64	1.09	2.18	0.07	2.89	1.03	
	8	泥岩	14.09	0.30	5.98	3.02	1.28	0.05	0.45	0.10	0.82	73.90	139.43	96.75	205.34	104.62	421.78	0.49	1.44	9.09	0.25	1.96	4.27	
NSQ1	7	泥岩	17.96	0.30	4.34	3.75	1.66	0.04	0.42	0.08	1.01	70.44	137.72	95.03	200.51	99.59	376.76	0.46	1.45	9.24	0.26	2.01	5.51	
	6	砂岩	2.91	26.92	0.99	1.07	0.50	0.03	0.18	0.04	0.11	67.26	18.20	31.97	50.68	426.75	126.81	0.02	0.57	16.99	3.37	0.12	0.02	
	5	砂岩	5.25	0.32	1.58	2.42	0.10	0.01	0.44	0.01	0.14	89.73	11.25	18.15	93.87	54.19	996.91	0.24	0.62	1.91	0.05	1.73	0.32	
	平均值			11.22	3.79	3.46	2.69	1.36	0.04	0.39	0.06	0.55	76.44	92.68	68.83	169.44	132.75	495.98	0.46	1.20	21.49	0.53	1.76	3.36
	4	泥岩	11.97	0.28	3.32	2.66	0.65	0.02	0.59	0.09	0.49	79.94	54.62	36.01	128.04	54.78	267.20	0.27	1.52	5.41	0.21	2.34	2.29	
NSQ1	3	泥岩	17.36	0.14	4.60	3.93	1.59	0.03	0.41	0.06	0.78	71.09	124.83	85.02	223.47	73.12	398.08	0.72	1.47	9.16	0.18	3.06	11.16	
	2	砂岩	5.92	3.54	1.48	3.06	1.48	0.02	0.38	0.02	0.10	84.00	23.03	51.67	104.08	66.57	336.42	0.03	0.45	24.93	0.20	1.56	0.42	
	1	砂岩	4.20	7.16	2.36	2.35	3.89	0.06	0.32	0.04	0.07	79.56	20.43	21.50	87.05	51.91	563.57	0.01	0.95	92.75	0.09	1.68	0.54	
	平均值			9.86	2.78	2.94	3.00	1.90	0.03	0.42	0.05	0.36	78.65	55.73	48.55	135.66	61.59	391.32	0.26	1.10	33.06	0.17	2.16	3.60

注：除 V、Cr、Rb、Sr 和 Ba 单位为 10⁻⁶ 外，其余组分单位均为 %。

表 2 HZ21 井珠江组碎屑岩中各元素含量的相关系数
Table 2 Correlation coefficients of mass fraction of each element in clastic rock

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	V	Cr	Rb	Sr	Ba
Al ₂ O ₃	1.00														
CaO	-0.49	1.00													
Fe ₂ O ₃	0.90	-0.45	1.00												
K ₂ O	0.88	-0.66	0.73	1.00											
MgO	-0.05	0.22	0.14	-0.07	1.00										
MnO	0.17	0.27	0.41	0.01	0.85	1.00									
Na ₂ O	0.20	-0.45	0.23	0.16	-0.39	-0.39	1.00								
P ₂ O ₅	0.79	-0.22	0.87	0.55	0.10	0.43	0.20	1.00							
TiO ₂	0.95	-0.47	0.88	0.77	-0.10	0.16	0.33	0.82	1.00						
SiO ₂	-0.63	-0.34	-0.63	-0.36	-0.32	-0.58	0.18	-0.69	-0.60	1.00					
V	0.95	-0.39	0.93	0.77	0.08	0.35	0.11	0.80	0.94	-0.69	1.00				
Cr	0.91	-0.33	0.88	0.75	0.09	0.34	0.17	0.75	0.92	-0.70	0.96	1.00			
Rb	0.92	-0.59	0.85	0.84	-0.09	0.12	0.15	0.64	0.87	-0.46	0.93	0.88	1.00		
Sr	-0.16	0.86	-0.14	-0.47	-0.02	0.20	-0.15	0.05	-0.08	-0.54	-0.05	0.03	-0.26	1.00	
Ba	-0.16	-0.44	-0.12	-0.02	-0.13	-0.24	0.17	-0.38	-0.16	0.55	-0.17	-0.22	-0.03	-0.48	1.00

代表陆源泥质沉积的特点。K 是伊利石的主要成分, Al₂O₃ 和 TiO₂ 常被吸附于粘土矿物中, 为粘土矿物的主要组分, 表明珠江组期有大量陆源物质侵入。由于 V、Cr 和 Rb 的离子半径相对较大, 具很强的被吸附性能, 被粘土矿物吸附而保留在原地或近距离迁移, 相比之下, 离子半径较小的 Sr、Ba 主要以游离态形式被地表水或地下水带走^[17], 说明 V、Cr 和 Rb 主要赋存于泥岩中; 而 Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 的含量反映了氧化作用的特征, 两者在整个珠江组的变化具有一致性, 高值说明了氧化环境较弱, 意味着水体变深。

b. SiO₂ 与 Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂ 呈明显的负相关 ($R \leq -0.60$), 与 K₂O 呈弱相关关系 ($R = -0.36$), 说明石英物质(SiO₂) 在泥岩中不发育, 其主要发育在砂岩中, SiO₂ 与硅质岩有很好的相关性。

c. Sr 与 CaO 呈明显的正相关 ($R = 0.86$), 说明 Sr 主要保存在方解石矿物中。Sr 最初多保存于文石矿物中, 因与高镁方解石和低镁方解石相比, 文石矿物晶体结构中的 Ca²⁺ 易被离子半径较大的 Sr²⁺ 替代, 但经过成岩作用以后, 文石向低镁方解石转变过程中, Sr 多被保存下来, 所以现在见到的 Sr 多保存在低镁方解石中^[18]。

d. P₂O₅ 与 Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、TiO₂ 呈明显的正相关 ($R \geq 0.55$), 与 SiO₂ 呈明显的负相关 ($R = -0.69$), 且与 CaO 呈弱相关关系 ($R = -0.36$)。P₂O₅ 是海水深度的指示标志, 其值的大小代表了海水的深

浅, 进一步可用来分析沉积环境^[19]。以上情况说明海水深度与泥质岩呈正相关, 与硅质岩呈负相关, 同时, 方解石矿物的形成也受海水深度的影响。

3.2 元素地球化学特征

不同沉积岩类的主要元素分布与其矿物成分有关^[20]。总的来说, HZ21 井珠江组碎屑岩的 SiO₂ 含量比较高, 其质量分数都在 67% 以上, 平均值为 78.9%, 说明 HZ21 井珠江组砂岩石英或富含 SiO₂ 的矿物(如长石)含量较高, 矿物成分成熟度可能比较高。碎屑岩中, Al₂O₃ 质量分数也相对较大, 平均为 10.35%, 其中砂岩平均为 6.86%, 而泥岩平均为 16.02%, 其含量高与碎屑岩中长石、云母及粘土矿物等富铝的矿物有关, 且以粘土矿物中铝元素最为富集。另外, 珠江组内各层序常量元素又表现出各自固有的特征: Al₂O₃ 以 NSQ2 层序含量最大, 平均质量分数为 11.22%; Na₂O 则以 NSQ3 层序含量最大, 平均质量分数为 1.15%; CaO、MgO 以及 10² × (MgO/Al₂O₃) 以 NSQ1 和 NSQ2 这两个层序较大; 而 NSQ4 层序, MgO/CaO 值最小, 平均值为 2.57。

HZ21 井珠江组各层序微量元素的平均含量也有明显的差异, V、Cr、Rb、Sr 及 Sr/Ba 以 NSQ2 层序相对最大, 而 Sr/Ba 值对古盐度的变化非常敏感, 其值越大, 反映的古盐度越高^[7], 说明 NSQ2 层序海水相对较咸, 其矿化度也相对较高。V、Sr、Ba 以及 10³ (Sr/Ca) 则以层序 NSQ1 最小, 而 Rb/Sr 比值以 NSQ1 层序最大。

4 沉积环境分析

不同成因的碎屑岩在物质来源、沉积环境及物理化学条件等方面存在差异,故不同环境的碎屑岩石化学成分必然有所不同,其相关化学特征值的比值也会存在明显的差异^[21-22]。

4.1 古水深

Veizer 指出, Sr 是沉积相分析的有力工具,其 $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ 值更能体现沉积相变化的特点^[23]。从表 1 中可以看出,前滨亚相(NSQ1)中 $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ 值为 0.01~0.72,平均值为 0.26;临滨亚相(NSQ2)中为 0.02~1.01,平均值为 0.46;滨外陆棚(NSQ3、NSQ4)中为 0.42~0.9,平均值为 0.66。从图 3a 可以看出,在不同的沉积相中,从前滨、临滨到滨外陆棚, $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ 值相应变化规律都反映出随着沉积环境水体的加深,其值显著变大。

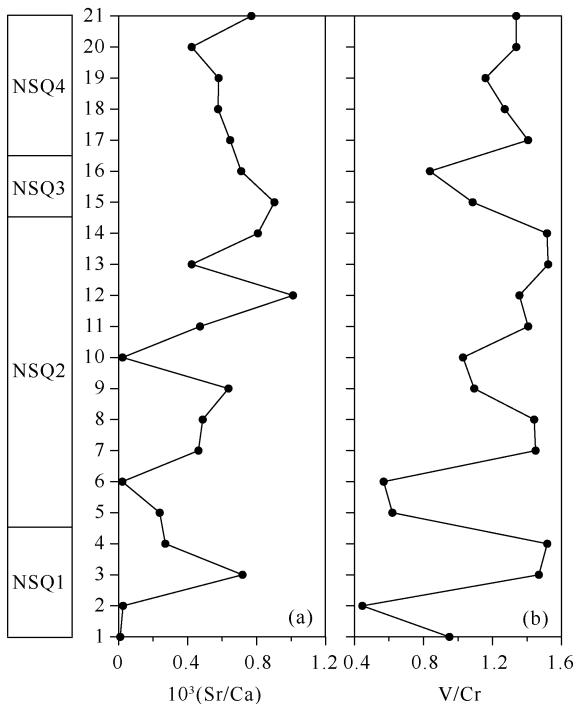


图 3 HZ21 珠江组 $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ (a)和 V/Cr (b)纵向变化

Fig. 3 Variations with depth of $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ and V/Cr of Zhujiang Formation in Well HZ21

研究表明, V 元素在还原条件下易于富集,而 Cr 元素在氧化条件下易于富集,因此在氧化条件下 V/Cr 比值低,反之,还原环境下该比值较高,从而判断沉积环境水体的深浅^[21]。从表 1 中看出,前滨(NSQ1)中 V/Cr 比值为 0.45~1.52,平均值为 1.1;临滨(NSQ2)和滨外陆棚(NSQ3、NSQ4)中平均值都为 1.2,但是临滨为 0.57~1.52,而滨外陆棚则为 0.84~1.41。从图 3b 中看出,从 NSQ1 到 NSQ4(前滨、临滨到滨外陆棚), V/Cr 比值从下往上有增加的趋势,

说明氧化还原条件朝还原条件方面转化,反映研究区水体有逐渐增加的趋势。

4.2 古盐度

根据沉积岩层中 MgO 的亲海性和 Al_2O_3 的亲陆特征,可以建立镁铝比值 $w=10^2(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 来判断水体盐度的咸淡^[22-23]。沉积环境由淡水向海水过渡时, w 值会随着水体盐度的增大而增加,淡水沉积环境 $w<1$,陆海过渡性沉积环境 w 为 1~10,海水沉积环境 w 为 10~500,陆表海环境(或泻湖碳酸盐岩沉积环境) $w>500$ 。由表 1 和图 4a 可知,珠江组的 w 值绝大多数在 1~10,少部分在 10~500,说明它们属海相沉积环境,同时有淡水河流的注入。NSQ1 和 NSQ2 的 w 值相对较高,其平均值分别为 33.06 和 21.49,属海水沉积环境;而 NSQ3 和 NSQ4 的 w 值相对较低,其平均值分别为 7.23 和 5.95,属陆海过渡性沉积环境。这刚好与 NSQ1、NSQ2 滨岸沉积环境及 NSQ3、NSQ4 滨外陆棚相一致,同时也与 HZ21 井在 NSQ1、NSQ2 时期受东沙隆起影响和 NSQ3、NSQ4 时期受古珠江的影响有关。

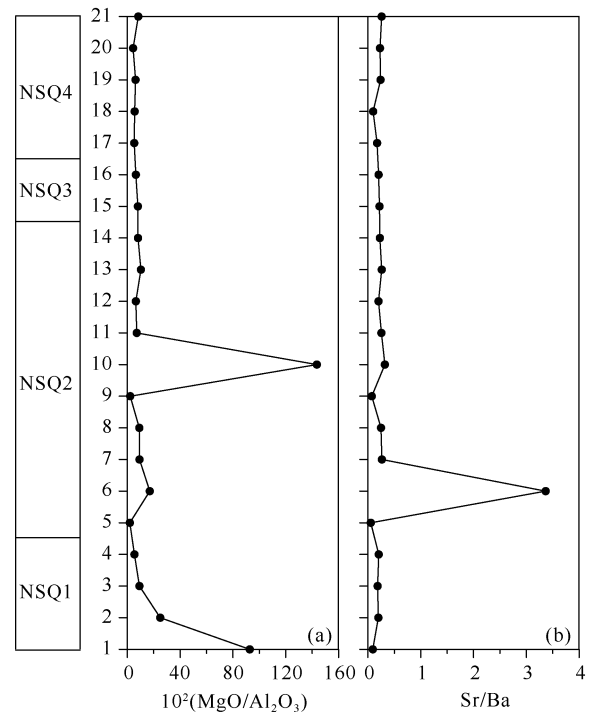


图 4 HZ21 珠江组 $10^2(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (a)和 Sr/Ba (b)纵向变化

Fig. 4 Variations with depth of $10^2(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ and Sr/Ba of Zhujiang Formation in Well HZ21

元素 Sr/Ba 比在分辨陆相和海相环境是最常用的一个指标^[7]。研究表明, Sr 元素在河水中的含量为 $7\times 10^{-8} \mu\text{g}/\text{g}$,而在海水里浓度变大为 $7.6\times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{g}$;相反, Ba 元素在河水中含量为 $2\times 10^{-8} \mu\text{g}/\text{g}$,

在海水中略有减小, 为 $1.4 \times 10^{-8} \mu\text{g/g}$ 。因此, Sr/Ba 值可以用作盐度标志, 值越大反映的古盐度越高。从表 1 和图 4b 来看, 除 NSQ2 的一件样品(6 号样品 Sr/Ba 值为 3.37)异常高值外, 其余样品的 Sr/Ba 值相差不大, 都在 0.2 左右, 说明从 NSQ1 到 NSQ4 沉积环境的水体盐度变化不太大。

样品的 Sr/Ba 值相差不大, 都在 0.2 左右, 说明从 NSQ1 到 NSQ4 沉积环境的水体盐度变化不大。

4.3 古气候

Rb 和 Sr 是在地球化学行为方面既有明显差别又有联系的微量元素, 由于 Rb 的离子半径较大, 具有很强的被吸附性能, 被粘土矿物吸附而保留在原地或近距离迁移, 相比之下, 离子半径较小的 Sr 则主要以游离态形式被地表水或地下水带走, Rb/Sr 比值的大小反映了气候环境水热条件和化学风化的程度^[26-27]。一般情况下, 气候温暖湿润, 降水量大, 使地表径流与地表侵蚀加强, 较多的地表细粒物质进入盆地中心沉积, 同时由于气候湿热, 化学风化作用的增强会使更多的 Sr 进入沉积盆地, 从而使沉积物 Rb/Sr 比值变小; 反之, 干燥寒冷, 降水量小, Rb/Sr 比值变大。表 1 和图 5a 给出了 Rb 和 Sr 元素的分析结果: 从 NSQ1 到 NSQ4 中 Rb/Sr 比值有逐渐变小的趋势, 说明 NSQ1 和 NSQ2 层序沉积时期气候干燥寒冷、降水量小; 而到上面的 NSQ3 和 NSQ4 层序沉积时期, 可能气候湿热, 降水量大, 其中以 NSQ3 层序 Rb/Sr 比值最小; 平均值 1.2。

Mg/Ca 值是气候变化的良好指示剂, 高值指示干热气候, 低值指示潮湿气候, 但是碱层层位时则相反。由于碱层的成分是碳钠盐岩, 当钠盐开始沉淀时, 水介质中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 由于充分沉淀浓度已很低, 况且 Mg^{2+} 的活动性比 Ca^{2+} 差得多, 二者相比, 前者几乎消耗殆尽, 故岩层中 Mg/Ca 值表现为低值或极低值^[28]。从表 1 中可以明显的看出, HZ21 井珠江组 K_2O 含量较高, 平均质量分数达到 2.72%, 说明研究层位都属于碱层层位, 而且 K_2O 与 CaO 具有明显的负相关性($R = -0.66$), 说明 K^+ 的沉积抑制了 Ca^+ 的沉积特点, 因此 Mg/Ca 高值指示潮湿气候, 而低值指示干热气候。如表 1 和图 5b 所示, 除 NSQ1 层序中的 3 号样品 MgO/CaO 值出现一异常高值 11.16 外, 整体上从 NSQ1 到 NSQ4 呈先由低变高、后变低的变化趋势, 其中以 NSQ3 的 MgO/CaO 平均值最大, 为 3.48, 反映出沉积期间气候从相对干热到逐渐潮湿、再转为干热的变化过程。

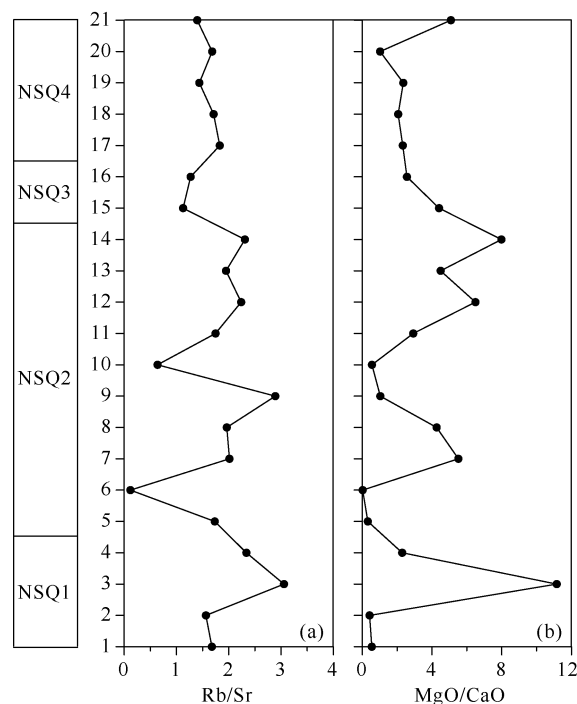


图 5 HZ21 珠江组 Rb/Sr(a)和 MgO/CaO(b)纵向变化

Fig. 5 Variations with depth of Rb/Sr and MgO/CaO of Zhujiang Formation in Well HZ21

5 结论

a. Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 、V、Cr、Rb 相互间呈明显的正相关关系, 且主要赋存于泥质矿物中。 SiO_2 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 呈明显负相关, 与 K_2O 呈弱相关关系, 说明沉积环境中石英物质会影响泥岩的沉积, 而 SiO_2 与硅质岩有很好的相关性。

b. 根据锶钙比值 $10^3(\text{Sr}/\text{Ca})$ 和 V/Cr 值分析, HZ21 井珠江组从 NSQ1 到 NSQ4 水体有逐渐加深的趋势, 与单井沉积相分析的从 NSQ1 到 NSQ4 依次发育前滨亚相、临滨亚相及滨外陆棚亚相对应。

c. 根据镁铝比值 $10^2(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 Sr/Ba 值分析得出, 珠江组从下往上沉积环境的水体盐度变化相差不大, 但是以 NSQ3 和 NSQ4 上部这两个层序略有下降, 可能与古珠江河水的注入有关。

d. 通过古气候指示剂 Rb/Sr 值和 MgO/CaO 值的分析: 在 NSQ1 和 NSQ2 层序沉积时期, 气候干燥寒冷, 降水量小; 而 NSQ3 和 NSQ4 层序沉积时期, 气候相对湿热, 降水量也相对较大, 化学风化能力较强, 其中以 NSQ3 层序沉积时期最为湿热, 化学风化作用最强。

参考文献

- [1] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 125-129.

- [2] 张金亮, 张鑫. 塔里木盆地志留系古海洋沉积环境的元素地球化学特征[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(2): 200–208.
- [3] JARVIS I, MURPHY A M, GALE A S. Geochemistry of pelagic and hemipelagic carbonates: criteria for identifying systems tracts and sea-level change[J]. Journal of Geological Society, 2001, 158: 685–696.
- [4] SVENDSEN J, FRIIS H, STOLLHOFEN H, et al. Facies discrimination in a mixed fluvio-eolian setting using elemental whole-rock geochemistry—Applications for reservoir characterization[J]. Journal of Sedimentary Research, 2007, 77: 23–33.
- [5] 王果胜, 马文璞, 朱卫平. 闽西南下三叠统溪口组硅质岩的地球化学特征及构造意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(5): 543–547.
- [6] LAMASKIN T A, DORSEY R J, VERVOORT J D. Tectonic controls on mudrock geochemistry, mesozoic rock of eastern oregon and western idaho, USA: Implications for cordilleran tectonics [J]. Journal of Sedimentary Research. 2008, 78: 765–783.
- [7] 刘燕学, 宋天锐. 辽东半岛复州湾十三里台组地球化学特征及沉积环境探讨[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 1018–1026.
- [8] 白宪洲, 何明友, 王玉婷, 等. 四川若尔盖地区西康群地球化学特征及其物源区和古风化程度分析[J]. 现代地质, 2010, 24(1): 151–157.
- [9] 罗静兰, 史成恩, 李博, 等. 鄂尔多斯盆地周缘及西峰地区延长组长 8、长 6 沉积物源——来自岩石地球化学的证据[J]. 中国科学: 地球科学, 2007, 37(增刊): 62–67.
- [10] YOUNG G M. Some aspects of the geochemistry, provenance and palaeoclimatology of the Torridonian of NW Scotland[J]. Journal of Geological Society, 1999, 156: 1097–1111.
- [11] 李潇雨, 郑荣才, 魏钦廉. 珠江口盆地惠州凹陷古近系物源分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 14(4): 33–37.
- [12] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [13] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [14] 李潇雨, 郑荣才, 魏钦廉, 等. 珠江口盆地惠州凹陷 HZ25-3-2 井珠江组沉积相特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(3): 251–258.
- [15] 梁杏, 王旭升, 张人权, 等. 珠江口盆地东部第三纪沉积环境与古地下水流动模式[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(5): 542–546.
- [16] 李胜利, 于兴河, 张志杰. 珠江口盆地西江 30-2 油田新近系中新统沉积微相及层序地层分析[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 30–40.
- [17] 黄润, 朱诚, 王升堂. 天堂寨泥炭地层的磁化率、Rb/Sr 值及其反映的古气候意义[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 385–389.
- [18] 何宏, 彭苏萍, 邵龙义. 巴楚寒武-奥陶系碳酸盐岩微量元素及沉积环境[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(6): 631–633.
- [19] 陈小军, 罗顺社, 张建坤, 等. 冀北拗陷长龙山组沉积相与地球化学特征研究[J]. 断块油气田, 2010, 17(3): 270–273.
- [20] 张茂盛, 胡晓静. 微量元素在地质沉积环境中应用[J]. 光谱仪器与分析, 1999, 12(4): 19–21.
- [21] 冯胜斌, 周洪瑞, 燕长海, 等. 东秦岭二郎坪群硅质岩地球化学特征及其沉积环境意义[J]. 现代地质, 2007, 21(4): 675–682.
- [22] 杨建民, 王登红, 毛景文, 等. 硅质岩岩石化学方法及其在“镜铁山式”铁矿床中的应用[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(2): 108–120.
- [23] VEIZER J, DEMOVIC R. Strontium as a tool for facies analysis[J]. Sedimentary Petrology, 1974, 44(1): 93–115.
- [24] 杨振宇, 沈渭洲, 郑连弟. 广西来宾蓬莱滩二叠纪瓜德普统—乐平统界线剖面元素和同位素地球化学研究及地质意义[J]. 地质学报, 2009, 83(1): 1–15.
- [25] 汪凯明, 罗顺社. 燕山地区中元古界高于庄组和杨庄组地球化学特征及环境意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(4): 356–364.
- [26] 庞奖励, 黄春长, 张占平. 陕西岐山黄土剖面 Rb、Sr 组成与高分辨率气候变化[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 637–641.
- [27] 李福春, 谢昌仁, 金章东, 等. 南京老虎山黄土剖面中铷锶地球化学和磁化率与古气候变化的关系[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 93–98.
- [28] 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.