

宣龙坳陷青白口系长龙山组碎屑岩地球化学特征

陈小军¹ 罗顺社² 李家华¹

(1. 中石化胜利油田分公司海洋采油厂, 山东 东营 257237; 2. 长江大学地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

摘要: 宣龙坳陷青白口系长龙山组为一套滨浅海碎屑岩沉积, 可划分为滨岸和浅海陆棚 2 个相区以及 3 种不同的相带。在对样品测试结果进行分析的基础上, 系统论述了微量元素的富集规律及其所蕴含的环境意义, 并利用相关性分析对各氧化物之间的关系进行了探讨。研究表明长龙山组沉积期海平面逐渐上升, 多处古河流的汇入不仅为碎屑岩沉积提供了充足的陆源补给, 而且使沉积水体淡化、盐度较低; 同时也反映出该区地球化学特征与原始沉积环境有着极为密切的关系; 无论是微量元素还是氧化物, 其含量大多数都由前滨→临滨→滨外陆棚呈明显增加的趋势, 特别是微量元素、 P_2O_5 、 MgO 、 CaO 、 MnO 含量及 M 值($M=100 \times MgO/Al_2O_3$) 随水体变化特征显著, 都可作为沉积环境判别的有效标志。此外, 解释了陆源组分 Al_2O_3 、 K_2O 、 Fe_2O_3 在水体较深的临滨及滨外陆棚环境中含量增高的主要原因。上述特征不仅表明该区地球化学特征可作为沉积相分析的重要标志, 也说明野外地层和沉积相划分的准确度较高。

关键词: 地球化学特征; 沉积环境; 碎屑岩; 长龙山组; 青白口系; 宣龙坳陷

中图分类号: P588.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)06-1477-08

利用地球化学特征判别沉积环境是沉积学中一个重要的研究领域。早期元素地球化学方法成功地应用于火山岩研究。随后, 应用元素地球化学判别沉积环境扩展到了沉积岩^[1], 目前在碳酸盐岩研究中应用较为广泛。元素在地层中迁移富集规律, 不仅取决于元素自身的物理化学性质, 而且受到古气候、古环境等外界条件的极大影响^[2]。地层中元素的分配及比值变化、组合都在一定程度上指示着古气候环境的演化历程, 古环境研究中一直把沉积岩矿物作为提取古环境信息的主要研究载体, 而元素又是组成矿物岩石的基本单元, 因此, 可以利用元素地球化学特征来分析沉积环境。

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^[3]。目前沉积物地球化学元素的研究主要从其特征元素的含量及其元素对的比值分析、微量元素异常分析、稀土模式分析、同位素分布特征等几个方

面着手研究, 力图找到元素的变化规律, 并应用于实践^[4-7]。笔者在研究燕山地区宣龙坳陷中、新元古界地层沉积特征的同时, 对区内青白口系长龙山组中不同层位、不同相带的碎屑岩样品进行了系统的采集和化学分析, 分析结果表明该区碎屑岩地球化学特征与沉积环境有着密切的关系, 可作为判别沉积环境的重要标志。

1 地质背景

研究区位于河北省怀来县梁家庄村附近(图 1), 区内青白口系地层出露良好, 自下而上分为下马岭组(Q_{nx})、长龙山组(Q_{nch})和景儿峪组(Q_{nj}), 构造上属于燕山地区宣龙坳陷。下马岭期后发生的蔚县运动, 使地层继续抬升, 造成下马岭组与长龙山组之间不整合接触。长龙山组时期地壳下沉, 海侵范围急剧扩大, 到达燕山青白口系沉积盆地周围的隆起区, 并在广大区域内形成一个大超覆。长龙山组沉积

收稿日期: 2011-05-20; 改回日期: 2011-08-20

基金项目: 中国石化股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目“燕山地区中新元古界沉积相与层序地层学研究”(YPH08025)资助。

作者简介: 陈小军, 男, 1984 年生, 硕士, 助理工程师, 现主要从事油气田开发地质研究工作; E-mail: super_cxj@126.com。

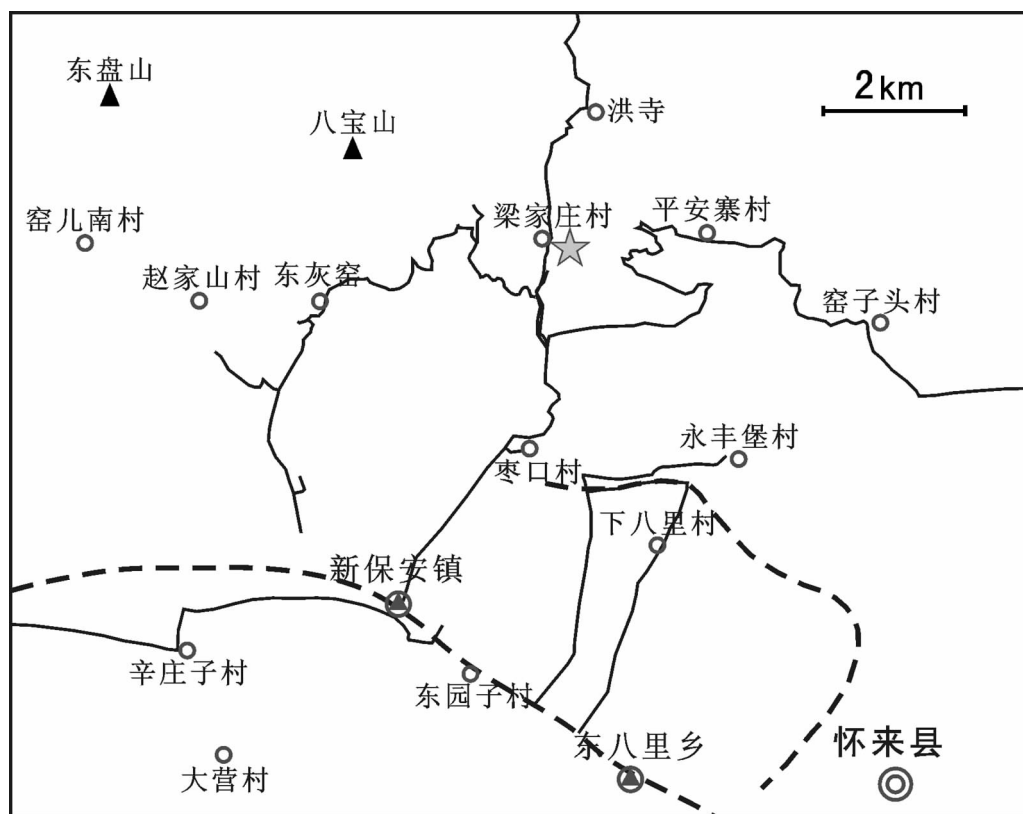


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

期海侵范围较广泛,古地理较平坦,构造沉降缓慢,沉积盆地边缘多处有古河流汇入,由于盆地边部的抬升,大量的碎屑沉积物被河流带入盆地,经过潮汐与波浪的改造形成了分布广泛的稳定型单陆屑建造系列^[8]。

2 沉积特征

研究区长龙山组发育完整,层、段界线清晰,自下往上分为长一、长二两个岩性段,实测厚度 69.08 m。通过野外剖面观察,根据岩石组合特征、结构及沉积构造特征,运用沉积学知识,并结合区域地质背景,笔者认为宣龙拗陷长龙山组为海相碎屑岩沉积,可划分为无障碍型海岸和浅海陆棚 2 个相区,前者主要发育在长一段,后者主要发育在长二段,进一步细分为前滨、临滨及滨外陆棚 3 种亚相。

前滨:位于海滩下部平均高潮线和平均低潮线之间,是海滩下部逐渐向海倾斜的平缓斜坡地带,主要发育在长一段,该时期砂质沉积物供给相当丰富,在沉积序列上表现为向上变厚的特征。岩性以灰

色-深灰色中-厚层状含砾石英粗砂岩为主,局部夹灰绿色粉砂质页岩薄层。石英含量 90%以上,水动力条件较强,碎屑颗粒较粗,石英砾径大多在 2~5 mm,分选磨圆好,镶嵌式铁质、硅质胶结,镜下见少量沥青质,上部岩层中发育少量含褐铁矿化的海绿石。以发育冲交错层理为主,可见对称浪成波痕。

临滨:位于平均低潮线与正常浪基面之间,是海滩的水下部分,发育在长二段上部。沉积物颗粒较细,岩性以绿黄色含泥粉砂岩夹粉砂质页岩为主,局部夹薄层状细-中粒石英砂岩。石英含量约 80%,石英粒径一般在 1~2 mm,次圆状-浑圆状,分选磨圆较好,硅质及泥质胶结,部分层含黄铁矿和海绿石等自生矿物,发育大型交错层理及平行层理。

滨外陆棚:位于过渡带外侧至大陆坡内边缘的浅海区,主要发育于长二段下部,岩性以褐红色、绿灰色(粉砂质)页岩为主,夹灰绿色薄层状含海绿石粉砂岩。海绿石含量相对较高,表明沉积时期为水体相对较深的、水动力较弱的安静环境。此外还发育灰绿色泥质粉砂岩薄层和砂岩透镜体,水平层理发育。

3 地球化学特征

14 块碎屑岩样品采自怀来县梁家庄村实测剖面,所取样品均未经蚀变、矿化或次生风化作用,岩性丰富,覆盖研究区发育的 3 种亚相类型,由国土资源部武汉资源环境监督检测中心中国地质大学(武汉)分析测试中心采用 Axios advanced X 射线荧光光谱仪,依据波长色散型 X 射线荧光光谱仪方法通则(JY/T 016-1996)进行测定,检测的元素包括:V、Rb、B、Sr、Ba、Al、Si、Fe、Mg、Ca、K、Mn、P 等(表 1),其中常量元素只检测其中 9 块。

3.1 微量元素特征

控制和影响碎屑岩中微量元素分布的因素十分复杂,如古地理条件、古构造变动、不同相带中岩性的不同、有机质含量的多少、成岩过程中物质再分配等等,但是在一定的区域内微量元素的变化主要取决于岩石成分,而岩石成分是古地理环境的必然产物,因此微量元素在纵向上的变化规律可作为划分沉积环境的标志^[9-10]。

V 和 Rb 主要与浮游和固着的藻类有关,离岸越远含量相对越高,其值可反映水体深浅的变化。沉积物中的 B 除来自陆源碎屑(电气石)外,主要从海水中吸取。现代海水中 B 约为 4.7×10^{-6} ,而淡水中一般不含 B。沉积物中 B 含量与水体中的 B 含量有关,因而也和水体的盐度存在着函数关系,这表明 B 含量可以作为古沉积环境指标的依据^[11]。一般认为,湖相沉积物中 B 含量最低,海相沉积物中约为 100×10^{-6} 或更高,成岩潟湖中含盐粘土 B 含量可达 1000×10^{-6} ^[12]。据沃克等^[13]研究认为,B 含量大于 400×10^{-6} 为超盐度环境, $300 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ 为正常海相, $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 为半咸水沉积,B 含量小于 200×10^{-6} 为低盐度环境的标准,研究区总体属于低盐度沉积环境且随沉积水体加深盐度逐渐增高,反映出长龙山期有多处古河流汇入,不仅使海水淡化、盐度较低而且为陆源物质的补给提供了充分的条件。

根据溶液中 Sr、Ba 的迁移能力及其地球化学性质,由淡水进入海水时, Ba^{2+} 与 SO_4^{2-} 结合生成 $BaSO_4$ 沉淀,因此陆源的 Ba 到达海水中容易沉淀且靠近海岸附近,而 $SrSO_4$ 溶解度较大,比 Ba 迁移的远,从而沉淀在较深处,因而记录在沉积物中的 Sr/Ba 值可以反映沉积水体的相对深浅及沉积环境。研究区 Ba 含量较高,表明陆源供给充足、沉积区靠近海岸。Sr/

Ba 值及其变化范围普遍较小(表 1),依据常用的 Sr/Ba 值大于 1.0 为海相、0.5~1.0 为半咸相、小于 0.5 为微咸水相的标准,长龙山期为微咸水的浅水环境,反映出海水淡化的特征。

从表 1 可以看出,研究区内微量元素变化规律非常明显,即由前滨→临滨→滨外陆棚随沉积环境水体的加深,各微量元素平均含量均明显增加;贾振远在研究鄂尔多斯盆地南缘沉积特征时,曾发现微量元素 V、Sr、Ba、B 的含量由浅水到深水环境有明显增加的趋势^[14]。同时可以看出,上部长二段各微量元素的平均含量远高于下部长一段,表明长龙山组时期水体逐渐加深,总体为一个海平面相对上升的过程。

3.2 常量元素特征

沉积岩中常量元素(氧化物)的分布与沉积环境有密切联系,对其含量进行分析研究,旨在查明常量元素分布规律所反映的不同沉积环境。为弄清楚各元素的富集机制及相互依存关系,对各元素作了相关系数分析,分析结果见表 2。

(1)由表 1 可看出 SiO_2 含量占绝对优势,而 CaO、MgO 含量较低,表明长龙山组为一套碎屑岩沉积, SiO_2 与 MgO、CaO 均呈明显的负相关关系(表 2),说明了沉积环境中陆源物质会抑制碳酸盐岩矿物的沉淀。CaO 与 MgO 呈明显的正相关关系,二者由前滨→临滨→滨外陆棚其含量明显增高,不仅反映出随水体的加深碳酸盐岩矿物沉淀作用增强,而且运用二者含量的变化可划分研究区沉积环境。

(2) K_2O 与 Al_2O_3 呈明显的正相关,它们主要赋存于陆源泥质中,K 是伊利石粘土的主要组分,Al 易被吸附于粘土矿物中,也是粘土矿物的主要组分。二者平均含量由前滨→临滨略有降低,但在滨外陆棚激增(样品 CH-19 含泥质、CH-20 为页岩的缘故),总体上陆源泥质逐渐增多。这些代表陆源泥质的组分与 CaO、MgO 呈弱正相关关系,这恰好与上述结论相反,其原因主要是沉积时期多处古河流的汇入,陆源补给充足,受波浪和潮汐的频繁淘洗,大量泥质被带入深水区,反而使滨外陆棚泥质更多;此外在海解作用下形成的自生矿物海绿石,也是导致较深水环境下 K 含量增多的原因^[15]。

(3) P_2O_5 与 K_2O 呈正相关,与 CaO 也呈正相关。 P_2O_5 是海水深度的指示标志,其含量高低代表了海水深浅的变化,可用来判别沉积环境。地球化学和海

表 1 宣龙坳陷青白口系长龙山组碎屑岩样品微量、常量元素分析结果
Table 1 Analytical results of trace and major elements in clastic rock samples of Changlongshan Formation in Qingbaikou System of Xuanlong Depression

段	样品编号	岩 性	微量元素/10 ⁻⁶										常量元素/%						100×MgO /Al ₂ O ₃	沉积 环境
			V	Rb	B	Sr	Ba	Sr/Ba	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅				
第 二 段	CH-26-Y1	泥质粉砂岩	33.87	110.80	67.00	49.50	1260.00	0.04	1.98	86.66	8.91	0.71	0.65	0.34	0.33	0.05	36	临滨		
	CH-24-Y1	含海绿石英砂岩	21.07	12.10	11.60	12.10	155.80	0.08	4.32	91.32	0.67	0.20	0.45	1.31	0.29	0.04	5	临滨		
	CH-22-Y1	含海绿石英砂岩	42.98	76.50	64.10	37.00	505.30	0.07	3.45	91.69	2.84	0.21	0.37	0.04	0.32	0.08	6	临滨		
	CH-21-Y1	頁岩	96.57	215.50	144.00	88.60	619.60	0.07	8.00	75.56	3.12	2.34	1.56	5.21	0.43	0.09	29	滨外陆棚		
	CH-20-Y1	粉砂质頁岩	82.87	210.00	134.90	81.50	857.60	0.10	6.61	76.98	3.56	2.92	2.08	2.48	0.51	0.29	44	滨外陆棚		
	CH-19-Y1	泥质粉砂岩	68.38	146.20	106.40	79.50	882.90	0.09	4.87	84.44	3.82	1.28	1.02	1.88	0.38	0.11	26	滨外陆棚		
		平均	57.62	128.52	88.00	58.00	713.53	0.08												
	CH-17-Y1	细砂岩	9.84	17.20	27.60	9.40	70.10	0.13											前滨	
	CH-15-Y1	细砂岩	51.69	14.40	12.30	10.90	82.50	0.13											前滨	
	CH-14-Y1	含海绿石英砂岩	5.22	23.00	25.50	15.10	146.50	0.10	2.98	76.36	6.39	3.43	2.21	0.15	0.01	0.09	115	临滨		
CH-12-Y1	细砂岩	2.90	4.90	11.10	4.10	55.20	0.07											前滨		
CH-9-Y1	细粒石英砂岩	13.96	49.00	38.20	17.00	368.80	0.05	4.64	91.37	0.47	0.21	0.42	1.15	0.16	0.02	5	前滨			
CH-3-Y2	含砾青砂岩	20.68	43.00	30.20	17.30	152.70	0.11	1.61	89.84	1.23	0.23	0.57	0.95	0.13	0.04	14	前滨			
CH-3-Y1	含砾石英砂岩	13.30	70.10	27.10	26.00	303.70	0.09	3.65	87.67	0.78	0.42	0.95	1.35	0.11	0.03	12	前滨			
CH-2-Y1	石英砂岩	8.78	24.40	19.40	8.60	103.50	0.08											前滨		
	平均	15.80	30.75	23.93	13.55	160.38	0.10	3.22	86.31	2.22	1.07	1.04	0.90	0.10	0.04	33 (9)				
	前滨平均	17.31	31.86	23.70	13.33	162.36	0.10	3.30	89.63	0.83	0.29	0.65	1.15	0.13	0.03	9				
	临滨平均	25.79	55.60	42.05	28.38	516.90	0.07	3.18	86.51	4.70	1.14	0.92	0.46	0.24	0.06	36 (11)				
	滨外陆棚平均	82.61	190.57	128.43	83.20	786.70	0.09	7.31	76.27	3.34	2.63	1.82	3.85	0.47	0.19	36				

注:100×MgO/Al₂O₃ 括号内的值为除去样品 CH-14(M 值为 115)的平均值。

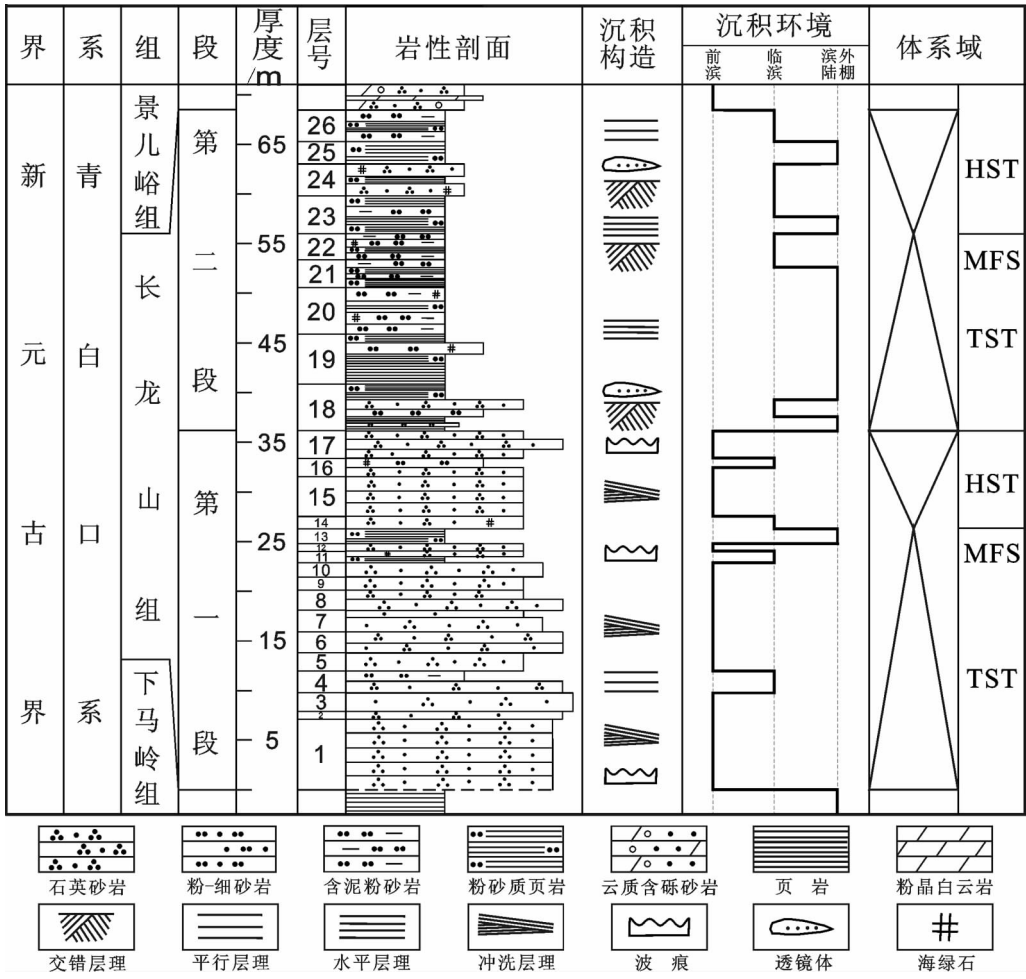


图 2 宣龙拗陷青白口系长龙山组沉积相柱状图

Fig.2 Sedimentary facies columnar section of Changlongshan Formation in Qingbaikou System of Xuanlong Depression

洋化学的大量测定表明海水中的磷是不饱和的,浓度很低,不能从海水中以无机方式直接大规模地沉淀出来,海水中P的直接物源是含磷的陆源碎屑和富含磷质的海洋生物^[6],说明了P主要来自于陆源组分。研究区P₂O₅平均含量随着水深和离岸距离的增大而增高,与其特征相吻合,反映出长龙山期广泛的海侵及多处古河流携带大量的陆源物质,同时P₂O₅含量可作为研究区沉积环境判别的有效标志。

(4) 镁铝比值 $M=100 \times MgO/Al_2O_3$ 是根据沉积岩中MgO的亲海性及Al₂O₃的亲陆性特征而建立的。沉积环境由淡水向海水过渡时,M值会随着水体盐度的增加而逐渐增大:淡水沉积环境M值小于1,陆海过渡性沉积环境M值在1~10,海水沉积环境M值在10~500,陆表海环境(或潟湖碳酸盐岩沉积环境)M值大于500^[7]。在某些内陆湖泊,随着湖水的咸化,湖相沉积物的M值也呈逐渐增大的趋

势,可见M值是沉积环境的一个有效判别标志。由表1可看出,长龙山组的M值主要分布在5~44(样品CH-14M值为异常值)之间,表明该时期为陆海过渡-海水沉积环境。高值点M=44出现在长一段与长二段的界线附近,同时长二段的M平均值(M=24)明显高于长一段(M=9),反映出该时期海平面开始上升、随水体加深盐度逐渐增高,这也与微量元素B所得出的结论相吻合。

(5) Fe₂O₃ 主要赋存于粘土矿物中,代表了陆源泥质,且Fe极易氧化成Fe³⁺形成Fe(OH)₃沉淀,因此被搬运到海洋中的Fe大多以化合物在浅海地区发生聚集。而Mn在海水中以Mn²⁺比较稳定的存在,能聚集在水体较深的地方出现,甚至聚集在大洋的洋底^[3],其含量(除局限海湾环境外)从浅水区至深水区依次增高,因此二者的变化规律可判别沉积环境。由表2可知MnO与Fe₂O₃呈弱正相关关系,

表 2 样品各组分及元素相关系数
Table 2 Correlation coefficients of various components and elements in the sample

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Sr
SiO ₂	-0.552								
Fe ₂ O ₃	-0.227	-0.448							
MgO	0.454	-0.962	0.466						
CaO	0.440	-0.951	0.379	0.979					
K ₂ O	0.869	-0.554	-0.204	0.360	0.363				
MnO	0.639	-0.265	0.125	0.165	0.112	0.558			
P ₂ O ₅	0.518	-0.615	0.200	0.661	0.671	0.304	0.632		
Sr	0.699	-0.635	0.310	0.490	0.465	0.706	0.844	0.687	
Ba	0.293	-0.332	0.622	0.206	0.145	0.319	0.725	0.395	0.799

这恰好与锰、铁的地球化学性质相反,原因可能是长二段发育较多海绿石(海绿石中富含 Fe),导致 Fe₂O₃ 含量在临滨和滨外陆棚激增,特别是样品 ZCH-14、ZCH-22、ZCH-24 均含海绿石,使临滨平均含量高达 4.70×10^{-2} 。研究区 MnO 含量从前滨的 0.13%, 上升至临滨的 0.24%, 到滨外陆棚增至 0.47%, 与上述规律相吻合,可用其含量作为本区沉积环境判别的有效标志。

(6)Sr 是研究海相环境的重要元素之一,也是海水深度的指示标志,它与 Ba 呈明显的正相关,与各常量元素也呈较好的正相关关系,反映出随着海平面的逐渐上升陆源物质的供给也越充足。此外,不难看出以前滨环境为主的长一段常量元素平均含量明显低于以临滨和滨外陆棚环境为主的长二段,说明长龙山沉积时期水体逐渐加深,整体为一个海侵的过程,这与微量元素所得出的结论相吻合。

4 结论及建议

(1)宣龙拗陷长龙山组为一套滨浅海碎屑岩沉积,可划分为滨岸和浅海陆棚 2 个相区以及前滨、临滨和滨外陆棚 3 种不同的相带。

(2)微量元素 V、Rb、B、Sr、Ba 由前滨→临滨→滨外陆棚随水体的加深,各元素含量均明显增加,用其含量变化可以来划分沉积环境。同时反映出长龙山期海平面逐渐上升,多处古河流的汇入不仅为碎屑岩沉积提供了充足的陆源补给,而且使海水淡化、总体盐度较低。

(3)K₂O、Al₂O₃、P₂O₅ 相互间都呈正相关关系,与 MgO、CaO 均呈正相关,这些元素含量及 M 值

总体上随着水深和离岸距离的增加而增高,表明碳酸盐岩矿物的沉淀作用、水体盐度都随水体的加深而增强,以及长龙山期有多处古河流汇入、陆源补给充足;P₂O₅、MgO、CaO 含量及镁铝比 M 值可作为研究区沉积环境判别的有效标志。

(4)MnO 与 Fe₂O₃ 呈弱正相关,Fe₂O₃ 在临滨、滨外陆棚激增,原因是长二段发育较多海绿石,MnO 含量沉积环境判别的有效标志。

(5)需要指出的是,利用地球化学特征划分沉积环境时,尽可能综合多种元素相互分析、相互验证、避免单一元素判断的片面性。此外,长龙山组大量较高成熟度的石英砂岩可形成良好的储集层,其下覆下马岭组大量页岩可成为较好生油岩,两组可形成一个良好的生储组合,因此深入对长龙山组沉积特征的研究,对中国新元古界油气勘探具有重要的意义。

参考文献(References):

- [1] Worash Getaneh. Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the A digrat Sandstone northern Ethiopia[J]. Journal of African Earth Sciences, 2002, 35:185-198.
- [2] 赵俊青, 纪友亮, 张善文. 地球化学在高分辨率层序界面识别中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 24(3):264-268.
Zhao Junqing, Ji Youliang, Zhang Shanwen. Application of geochemical methods in the recognition of high-resolution sequence boundary[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 24(3):264-268(in Chinese with English abstract).
- [3] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 125-129.
Zhao Zhenhua. Principles of Trace Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1992:125-129(in Chinese).
- [4] 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.
- Zhang Jinliang, Zhang Xin. The element geochemical features of ancient oceanic sedimentary environments in the Silurian Period in the Tarim Basin [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(2):200-208(in Chinese with English abstract).
- [5] 张有瑜, Horst Zwingmann, 刘可禹, 等. 塔中隆起志留系沥青砂岩油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年研究与成藏年代探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2):166-174.
- Zhang Youyu, Horst Zwingmann, Liu Keyu, et al. K-Ar isotopic dating of authigenic illite and its application to the investigation of hydrocarbon accumulation history of the Silurian bituminous sandstone reservoirs in the Tazhong uplift, Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2):166-174(in Chinese with English abstract).
- [6] 史忠生, 陈开运, 何胡军, 等. 铍同位素在沉积环境分析方面的应用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 24(2):187-190.
- Shi Zhongsheng, Chen Kaiyun, He Hujun, et al. Application of Sr isotope to sedimentary environments analysis[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 24(2):187-190(in Chinese with English abstract).
- [7] 高长林, 黄泽光, 张玉箴. 周口白垩系砂泥岩的化学特征及其构造学意义[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2):237-241.
- Gao Changlin, Huang Zeguanguang, Zhang Yuzhen. Geochemical characteristics of Cretaceous sandstone-mudstone and its importance to tectonics in Zhoukou basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2):237-241(in Chinese with English abstract).
- [8] 陈小军, 罗顺社, 张建坤, 等. 冀北坳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.
- Chen Xiaojun, Luo Shunsheshe, Zhang Jiankun, et al. Study on sedimentary facies and geochemical features of Changlongshan Formation in Jibei Depression [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17(3):270-273(in Chinese with English abstract).
- [9] 胡明毅. 塔北柯坪奥陶系碳酸盐岩地球化学特征及环境意义[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2):158-163.
- Hu Mingyi. Geochemical characters and environmental significance of Ordovician carbonates rocks in Keping area, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15 (2):158-163 (in Chinese with English abstract).
- [10] 苗建宇, 赵建设, 刘池洋, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩地球化学特征与沉积环境的关系[J]. 中国地质, 2007, 34(3):430-435.
- Miao Jianyu, Zhao Jianshe, Liu Chiyang, et al. Relationship between the geochemical characteristics and sedimentary environment of Permian hydrocarbon source rocks in the Ordos basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3):430-435(in Chinese with English abstract).
- [11] 罗顺社, 陈小军, 李任远, 等. 燕山地区冀北坳陷雾迷山组地球化学特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1):17-28.
- Luo Shunsheshe, Chen Xiaojun, Li Renyuan, et al. Geochemical behaviors of the Wumishan Formation in the Jibei Depression of Yanshan Region [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32 (1):17-28(in Chinese with English abstract).
- [12] 冯增昭. 碳酸盐岩沉积环境[M]. 北京:科学出版社, 1965:10-24
- Feng Zengzhao. The Sedimentary Environments of Cambrian Carbonatite[M]. Beijing:Science Press, 1965:10-24(in Chinese).
- [13] 郭成贤, 胡明毅. 中扬子台地边缘上震旦统沉积成岩作用研究[M]. 北京:地质出版社, 1997:81-83.
- Guo Chengxian, Hu Mingyi. Study on Sedimentary Diagenesis of the Upper Sinian in Middle Yangtze Platform Edge [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997:81-83(in Chinese).
- [14] 贾振远. 一个碳酸盐沉积古斜坡的基本特征[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(2):171-177.
- Jia Zhenyuan. Fundamental characters of a carbonate palaeoslope[J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9(2):171-177(in Chinese with English abstract).
- [15] 旷红伟, 刘燕学, 孟祥华, 等. 吉辽地区震旦系碳酸盐岩地球化学特征及其环境意义[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1):54-58.
- Kuang Hongwei, Liu Yanxue, Meng Xianghua, et al. The geochemical features and its environmental significance of the Sinian carbonates in the Jilin-Liaoning area [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1):54-58(in Chinese with English abstract).
- [16] 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京:北京大学出版社, 1999:30-34, 174-177, 205-210.
- Mou Baolei. Element Geochemistry[M]. Beijing:Peking University Press, 1999:30-34,174-177,205-210(in Chinese).
- [17] 杨振宇, 沈渭洲, 郑连弟. 广西来宾蓬莱滩二叠纪瓜德鲁普统一乐平统界限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.
- Yang Zhenyu, Shen Weizhou, Zheng Liandi. Elements and isotopic geochemistry of Guadalupian-Lopingian boundary profile at the Penglaitan section of Laibin, Guangxi Province, and its geological implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(1):1-15 (in Chinese with English abstract).

Clastic rock geochemical features of Changlongshan Formation in Qingbaikou System within Xuanlong Depression

CHEN Xiao-jun, LUO Shun-she, LI Jia-hua

(1. Offshore Oil Production Plant of Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying 257237, Shandong, China;

2. College of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China)

Abstract: The Changlongshan Formation of the Qingbaikou System in Xuanlong Depression is dominated by relatively high-maturity littoral-neritic clastic sediments and can be roughly divided into barrierless coast and neritic shelf facies zones as well as into three different facies tracts. Based on an analysis of the testing result of clastic rock samples, the authors systemically discuss the enrichment mechanism of trace elements and its environmental significance and, using correlation analysis, deal with the correlativity between oxides of clastic rocks. The results show that, due to rising sea level during the deposition of Changlongshan Formation, the inflow of ancient rivers not only provided clastic sediments with sufficient terrigenous materials but also caused low salinity of sedimentary water body, suggesting that geochemical characteristics were closely related to the initial sedimentary environment in the study area: the content of both trace elements and oxides significantly increased from foreshore through nearshore to offshore shelf; the content of trace elements, P_2O_5 , MgO , CaO , MnO and the values of $M(M=100\times MgO/Al_2O_3)$ changed especially significantly with the increasing water depth, which can be used as effective marks for the sedimentary environment. This paper also clarifies the major causes for the increase of the content of the terrigenous components (such as Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3) in deeper water of the nearshore and offshore shelf environment. These features indicate that the geochemical characteristics of the area can be used as important marks for sedimentary facies analysis and that the accuracy of field division of strata and sedimentary facies is relatively high.

Key words: geochemical features; sedimentary environment; clastic rocks; Changlongshan Formation; Qingbaikou System; Xuanlong Depression

About the first author: CHEN Xiao-jun, male, born in 1984, master, assistant engineer, engages in the study of oil and gas field development geology; E-mail: super_cxj@126.com.