

临清拗陷东部三叠系沉积岩地球化学特征及构造意义

王明健^{1, 2, 3}, 孟祥君^{1, 2, 3*}, 李 滌⁴, 陈 晞⁵, 朱晓青^{1, 3}

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;

2 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071;

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 4 中国地质大学能源学院, 北京 100083;

5 国家海洋局北海航空支队, 青岛 266000)

摘 要:碎屑沉积岩的物质组成对其形成的构造背景具有重要的指示作用。通过对临清拗陷东部三叠系碎屑沉积岩样品地球化学主量和微量元素分析表明:三叠系岩石样品主要为成熟度较低的杂砂岩和长石砂岩;碎屑沉积岩的母岩总体上与大陆地壳组成基本一致,原岩以沉积岩和花岗岩为主;临清拗陷东部中生代早—中三叠世处于靠近大陆岛弧的活动大陆边缘构造环境,其动力学机制与早期秦岭洋壳向华北板块俯冲、晚期扬子板块和华北板块碰撞作用有关。研究结果为确定三叠纪时期华北东部南侧的构造环境提供了地球化学方面的证据。

关键词:临清拗陷东部;三叠系;地球化学;构造背景

中图分类号:P588.2;P591

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.06002

沉积岩是地球物质循环的一个重要组成部分,其物质组成蕴含丰富的地壳发展演化信息^[1]。通过对碎屑沉积岩的主量和微量元素进行分析可以获得大量的地质信息。目前常用的技术方法主要包括:①利用碎屑沉积岩中的常量元素来判定其物源区母岩类型和大地构造背景^[2];②碎屑沉积岩在形成过程中一些不活动微量元素地球化学

性质相对稳定,可用于沉积盆地的物源示踪和构造背景的判别^[3-6];③某些稀土元素的比值在碎屑沉积岩形成过程中保持稳定,其稀土元素配分模式同样可以反映沉积盆地的大地构造背景^[1,7];④碎屑沉积岩的地球化学组成能够为探讨上部陆壳成分提供重要信息^[1]。三叠系在我国华北东部地区经历了大规模的剥蚀,造成该地层缺失严重,而目前的勘探资料显示在临清拗陷东南部有部分残留,岩性为河湖相紫红色、灰色粉细砂岩与紫红色砂质泥岩的不等厚互层,并夹有少量碳酸盐岩和炭质页岩,残留地层厚度为 0~1 200 m,向北部逐渐减薄尖灭。这些残留的三叠系是探讨三叠纪华北克拉通构造格局形成地球动力学背景的重要窗口。通过对该套沉积岩的地球化学研究不仅可了解其形成的构造背景,而且能为华北板块和扬子板块的碰撞拼合过程提供约束。

本次研究拟以渤海湾盆地临清拗陷东部三叠

收稿日期:2017-03-07

基金项目:国家自然科学基金(41606079);山东省博士后创新项目专项资金(201201001);国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金(MRE201223);中国地质调查局地质调查项目(GZH201400205)

作者简介:王明健(1983—),男,高级工程师,主要从事盆地构造与油气成藏方面的研究工作。E-mail:wangmingjian0328@qq.com

*** 通讯作者:**孟祥君(1975—),男,教授级高级工程师,主要从事地球物理与大地构造方面的研究工作。E-mail:sdqdmxj@126.com

系地层为研究对象,通过分析该层段碎屑沉积岩的主量元素和微量元素地球化学特征,并结合区域地质背景及前人研究,探讨了临清拗陷东部在三叠纪时期沉积物源区的构造背景。

1 研究区地质概况

临清拗陷东部位于渤海湾盆地的西南收敛端,自三叠纪以来经历了多期构造运动的强烈改造^[8,9]。区内发育德州—冠县、莘县 2 个凹陷和高唐—堂邑凸起 3 个构造单元,总面积约为 5 000 km²(图 1);地层发育较全,除区域性缺失的上奥陶统、志留—泥盆系和下石炭统外,其余地层均有分布。自下而上可划分为 9 个构造层,分别是 $\in$ —O、C—P、T₁₋₂、J₁₋₂、J₃—K₁、Ek—Es₄、Es₃—Es₂、Es₁—Ed、N—Q(图 2)。

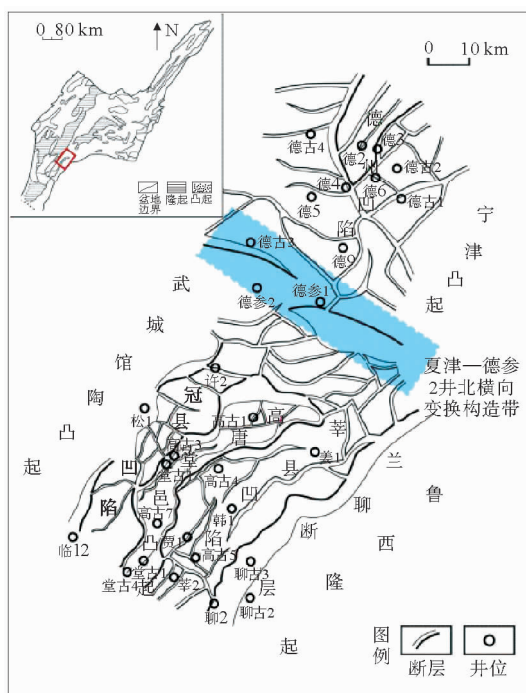


图 1 临清拗陷东部地理位置和构造纲要

Fig. 1 Location and tectonic map of eastern Linqing Depression

2 三叠系沉积岩的地球化学特征

临清拗陷东部钻遇三叠系的钻井很少,本次

研究选取高古 5 井该层段的 4 块岩心样品进行主量和微量元素分析,标号分别为 LQ-1(4 039.9 m)、LQ-2(4 042.7 m)、LQ-3(4 041.68 m)、LQ-4(4 042.1 m)。

2.1 样品分析测试

样品在分析前进行显微镜下矿物组成与结构观察,挑选未蚀变、风化的样品作进一步分析。将选出的全岩样品手工粗碎至 1~2 cm,选出大约 100 g,用无污染刚玉碎样机粉碎至 200 目。每个样品缩分出两份进行主量、微量测试。主量元素在核工业北京地质研究院由 X 射线荧光光谱分析,其中二价铁与三价铁由化学法测定,主量元素分析准确度与精密度优于 5%。REE 与其他微量元素分析样品由带钢套的聚四氟乙烯密封溶样罐溶解样品,样品溶液用电感耦合等离子体质谱(ICP—MS)(VGPQII)分析,分析精度优于 5%~10%。

2.2 岩相学特征

4 个样品岩性均为粉砂岩。镜下观察发现碎屑颗粒主要为石英、斜长石、钾长石和岩屑,此外可见到磁铁矿、磷灰石、石榴子石、榍石、锆石等重矿物;其中砂岩中石英颗粒含量 30%~45%,长石含量 25%~35%,岩屑含量 15%~25%;胶结物主要为碳酸盐,其次为黏土矿物,孔隙式胶结为主;颗粒分选磨圆中等(图 3)。

2.3 主微量元素特征

临清拗陷三叠系碎屑沉积岩的岩石化学组成如表 1 所示。剔除 LOI、H₂O 重新计算到 100% 后与 Taylor^[3] 的大陆上地壳平均成分相比,研究区碎屑沉积岩具有以下特征:① SiO₂ 含量为 63.42%~77.27%,平均 69.51%,略高于上地壳平均值 66.00%;② 铁、钛、钙含量高:样品的 TF_{Fe}O₃ (全铁) 含量为 1.50%~6.14%,平均 4.33%,低于上地壳平均值 4.50%;TiO₂ 含量为 0.35%~0.70%,平均 0.54%,略高于上地壳平均值 0.50%;CaO 含量为 2.06%~8.30%,平均 4.44%,略高于上地壳平均值 4.20%;③ 钠、钾含量较低:Na₂O 含量为 2.11~2.79%,平均 2.52%,低于上地壳平均值 3.90%;K₂O 含量为

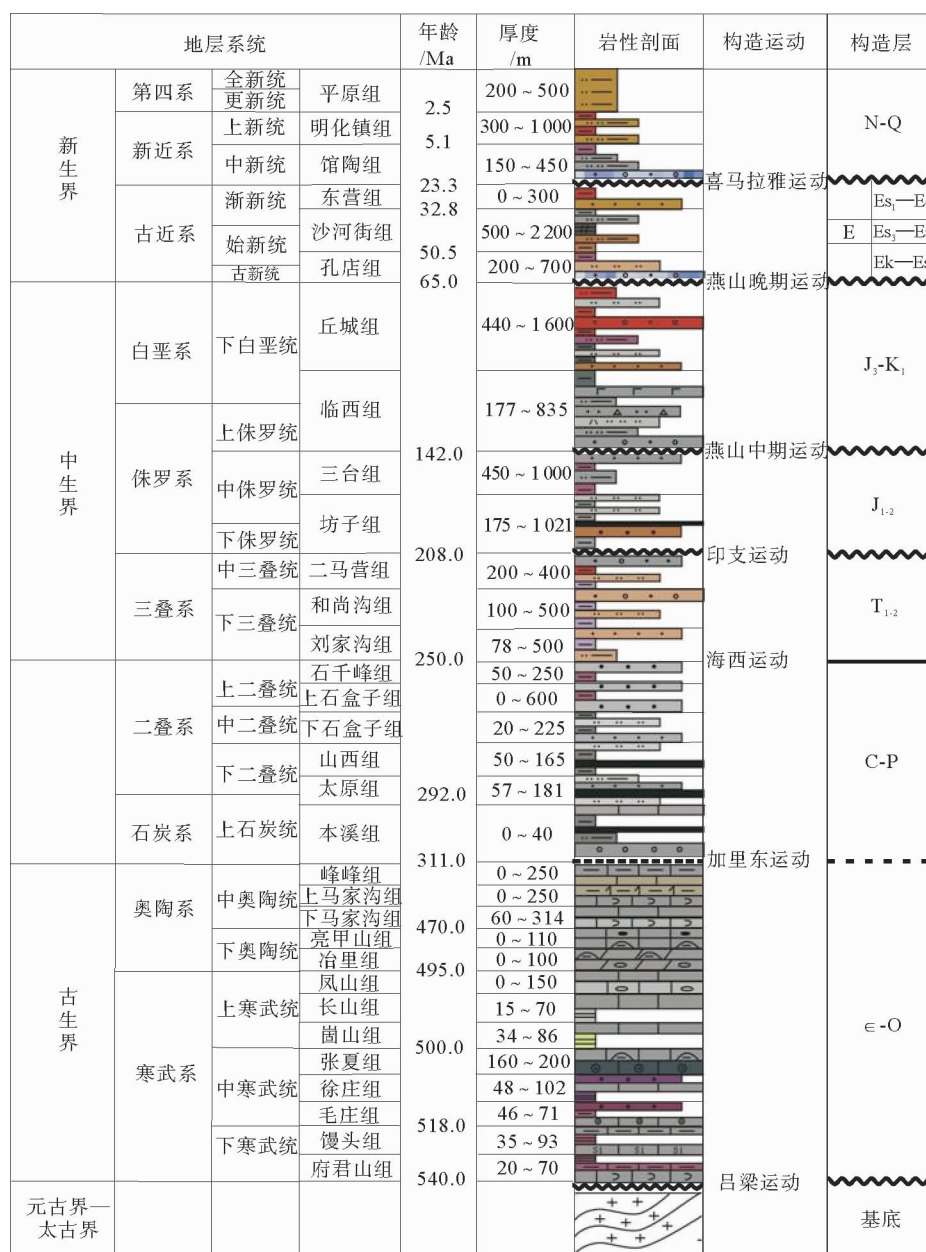


图 2 临清坳陷东部地层发育特征

Fig. 2 Stratigraphy characteristics of eastern Linqing Depression

2.39~3.81%, 平均 3.09%, 低于上地壳平均值 3.40%; ④镁、铝含量与上地壳较为接近: Al_2O_3 含量为 9.99%~15.04%, 平均 13.04%, 低于上地壳平均值 15.2%; MgO 含量为 0.76%~3.89%, 平均 2.34%, 略高于上地壳平均值 2.2%; ⑤ P_2O_5 含量稍低, P_2O_5 含量为 0.07%~0.19%, 平均 0.12%, 略低于上地壳平均值 0.17%。

由 $Na_2O/K_2O-SiO_2/Al_2O_3$ 变化关系(图 4)

确定出岩石样品主要为成熟度较低的杂砂岩和长石砂岩, 说明沉积盆地离物源区较近, 砂岩碎屑组分没有经过充分的搬运与分选。从 REE 球粒陨石标准化稀土元素图(图 5)上可以看出, 岩石样品富含轻稀土元素, 重稀土元素含量稳定; 具较明显的 Eu 负异常, 平均为 0.78, 略高于上地壳平均 Eu 负异常值 0.71; 与 NASC 变化趋势较为一致。通过对样品轻稀土元素之间、重稀土元素之间以及轻—重稀土元素间的分馏程度分析发现: (La/

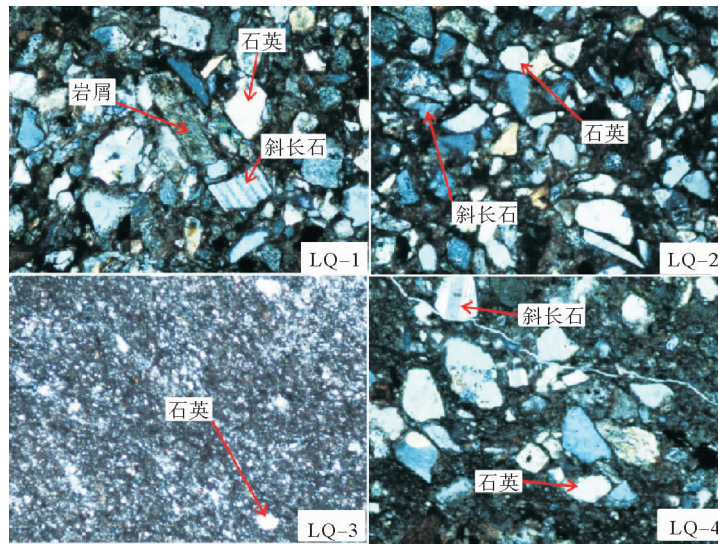


图 3 临清坳陷东部高古 5 井三叠系碎屑沉积岩岩石结构(10 * 10, 正交偏光)

Fig. 3 Texture of Triassic sedimentary rock in Well Gaogu5 of Eastern Linqing Depression (10 * 10, cross polarization)

表 1 临清坳陷东部三叠系碎屑沉积岩的
主量(%)、微量(10^{-6})元素含量Table 1 Content of major and trace elements in
Triassic clastic sedimentary rocks

样品	LQ-1	LQ-2	LQ-3	LQ-4
SiO ₂	62.57	68.86	73.46	58.47
TiO ₂	0.67	0.48	0.33	0.56
Al ₂ O ₃	14.32	12.61	9.5	12.93
TFe ₂ O ₃	5.85	4.41	1.43	4.68
MnO	0.06	0.04	0.04	0.12
MgO	3.7	1.99	0.72	2.44
CaO	2.23	1.98	4.81	7.65
Na ₂ O	2.01	2.54	2.41	2.57
K ₂ O	3.63	3.11	2.27	2.68
P ₂ O ₅	0.18	0.066	0.1	0.097
LOI	4.66	3.8	4.84	7.58
总计	99.88	99.89	99.91	99.78
Sc	13.6	10.8	6.6	11.5
Cr	56.2	43.2	33.2	48.5
Co	12.7	6.27	2.73	8.5
Ni	26.6	14.3	8.63	16
Zn	68	40.7	22.6	54.4
Rb	140	112	66	93.7
Sr	425	678	428	558
Cs	6.91	5.26	2.01	4.39

(续表)

样品	LQ-1	LQ-2	LQ-3	LQ-4
Ba	632	1747	974	1750
La	42.9	32.6	24.2	41.2
Ce	83.7	64.7	45.8	67.2
Pr	9.92	7.5	5.47	8.45
Nd	36.8	26	19.8	29.9
Sm	6.73	4.52	3.7	5.3
Eu	1.47	1.06	0.924	1.16
Gd	5.57	3.53	2.92	4.42
Tb	0.924	0.615	0.484	0.755
Dy	4.76	3.17	2.63	3.89
Ho	0.91	0.584	0.527	0.783
Er	2.5	1.72	1.49	2.23
Tm	0.441	0.3	0.254	0.424
Yb	2.48	1.72	1.5	2.63
Lu	0.43	0.291	0.257	0.451
Zr	157	136	101	154
Hf	4.47	3.52	2.72	3.89
Ta	1.06	0.705	0.621	0.851
Th	11.7	9.5	6.31	10.9
U	1.99	2.05	2.03	2.15
ΣREE	199.54	148.31	109.96	168.79
(La/Yb)N	11.69	12.81	10.90	10.59
(La/Sm)N	4.01	4.54	4.12	4.89
(Gd/Yb)N	1.82	1.66	1.58	1.36
δEu	0.73	0.81	0.86	0.73

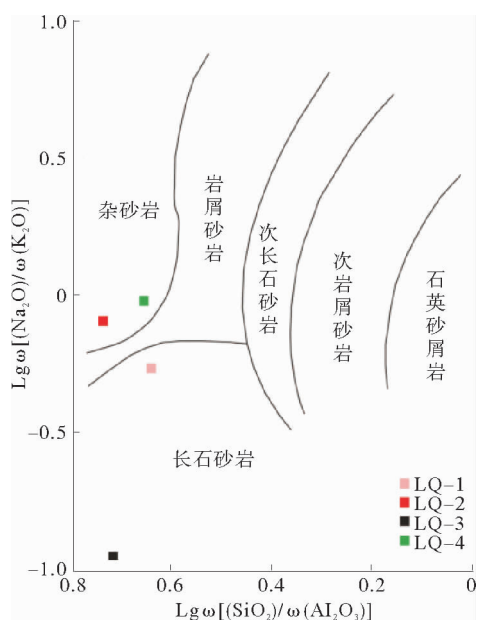


图 4 临清拗陷东部三叠纪碎屑沉积岩
Na₂O/K₂O-SiO₂/Al₂O₃ 分类

Fig. 4 Na₂O/K₂O-SiO₂/Al₂O₃ classification diagram of Triassic clastic sedimentary rock in Eastern Linqing Depression

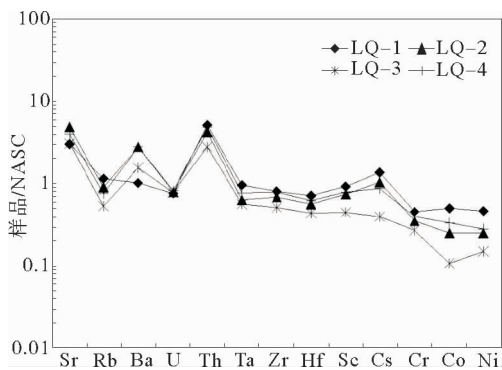


图 5 临清拗陷东部三叠系碎屑沉积岩
球粒陨石标准化稀土元素

Fig. 5 Chondrite normalized rare earth elements in Triassic clastic sedimentary rocks of Eastern Linqing Depression

$(\text{Sm})_{\text{N}}$ 平均为 4.39; $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均为 1.61; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均为 11.50。 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 平均值高于大陆上地壳(4.15); $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值略高于大陆上地壳(1.57)平均值; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值高于大陆上地壳(10.7)值。稀土总量(质量分数)平均为 156.65×10^{-6} , 变异系数为 13.5%, 比大陆上地壳

平均值 148×10^{-6} 高。这些数据说明三叠系碎屑沉积岩的母岩总体上与大陆地壳组成基本一致, 稀土元素分馏程度比平均大陆上地壳充分, 三叠系碎屑沉积岩的原岩以沉积岩和花岗岩为主, 源区的火成岩组成上可能再循环地壳组分所占比例较高, 幔源镁铁质岩石在壳内深熔作用过程中占有较低的比例。

在微量元素含量方面, 岩石样品的 Ni 和 Cr 含量($\text{Ni} = (8.63 \sim 26.6) \times 10^{-6}$, $\text{Cr} = (33.2 \sim 56.2) \times 10^{-6}$)全部低于后太古代澳大利亚页岩(PAAS; $\text{Ni} = 55 \times 10^{-6}$, $\text{Cr} = 110 \times 10^{-6}$)^[3], 明显不同于太古代的泥岩($\text{Ni} = 221 \times 10^{-6}$, $\text{Cr} = 507 \times 10^{-6}$)^[10], 并且含量变化范围较大。对于其他微量元素, 除了 Th、Sr 和 Cs 含量变化范围大之外, 所有样品相对于显生宙北美页岩(NASC)及后太古代澳大利亚页岩(PAAS)亏损。但是大多数样品的 Th/U 比值(3.11~5.88)却与后太古代澳大利亚页岩(PAAS)(4.7)^[3] 相近。

从图 6 中可以看出, 临清拗陷东部三叠系碎屑沉积岩样品比较一致, 呈中等程度的轻稀土(LREE)富集和相对平坦的重稀土(HREE)配分模式($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 10.59 \sim 12.81$)。所有样品具有比较明显的 Eu 负异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.73 \sim 0.86$), 稀土总量介于 $(109.96 \sim 199.54) \times 10^{-6}$, 与显生宙北美页岩(NASC)及后太古代澳大利亚页岩(PAAS)比较相似。

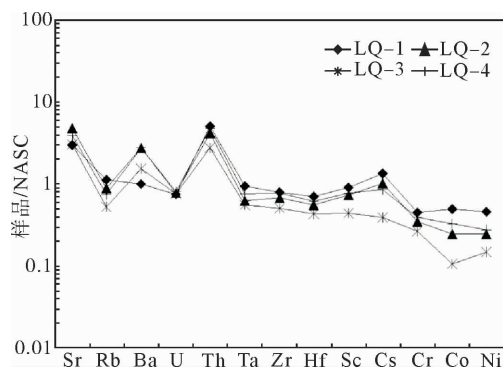


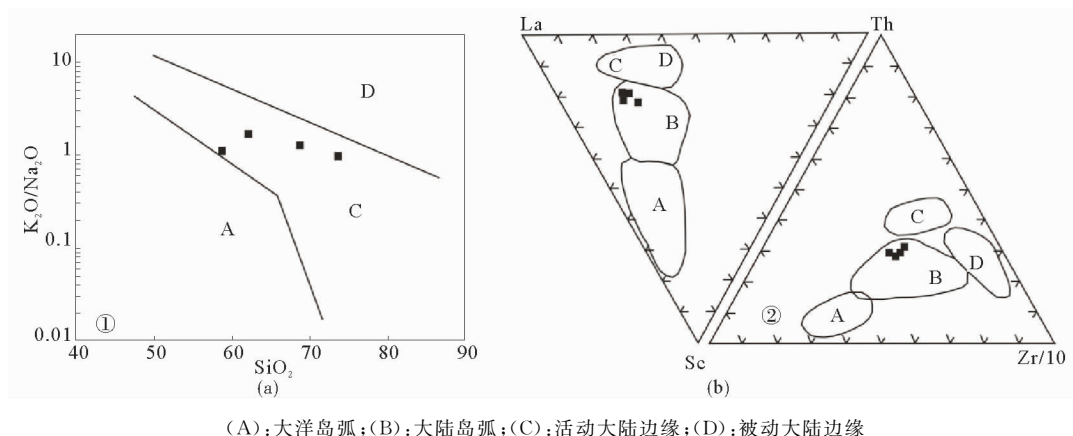
图 6 临清拗陷东部三叠纪碎屑沉积岩北
美页岩标准化微量元素蛛网图

Fig. 6 North American shale normalized spidergram of trace element in Triassic clastic sedimentary rock of Eastern Linqing Depression

3 构造环境

通过碎屑沉积岩地球化学的研究可以区分出大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘及被动大陆边缘4种典型的构造环境^[3,11]。基于澳大利亚东部古生代浊积岩系列的研究,Bhatia等^[4]认为,碎屑沉积岩的主量元素可以反映其成因及构造背景。通常从大洋岛弧到被动陆缘的砂岩, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 TiO_2 含量和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值降低,而 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ 比值增加^[11]。临清拗陷东部三叠系岩石样品的 Fe_2O_3

+ MgO 值介于2.15%~9.55%(平均6.31%); TiO_2 含量介于0.33%~0.67%(平均0.51%); $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值介于0.13~0.23(平均0.19); $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值介于0.94~1.81(平均1.25); $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ 比值介于1.27~3.38(平均2.19),不同于大洋岛弧及被动大陆边缘,而与大陆岛弧及活动大陆边缘相似。在 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ - SiO_2 图解中^[4],临清拗陷三叠系碎屑沉积岩全部落入活动大陆边缘区(图7①)。在Roser和Korsch^[2]的 $1a\text{-Th-Sc-Zr}/10$ 图解中,研究区所有三叠系样品均落入大陆岛弧构造环境区,该区包括了大陆边缘岩浆弧构造环境。



(A):大洋岛弧;(B):大陆岛弧;(C):活动大陆边缘;(D):被动大陆边缘

图7 临清拗陷东部三叠纪碎屑沉积岩构造环境图解(据文献[2])

Fig. 7 Tectonic setting of Triassic clastic sedimentary rock in Eastern Linqing Depression (from reference [2])

为了进一步区分岩石样品碎屑沉积岩形成的构造背景,本次研究对不活泼的微量元素进行了分析(图7②)。从临清拗陷东部中生代碎屑沉积岩构造环境图解(图7②)中可以看出,除部分样品的数据靠近或落入活动大陆边缘区外,其余碎屑沉积岩数据落入大陆岛弧区,说明该套碎屑沉积岩可能沉积于靠近大陆岛弧的相关盆地,而这种大陆岛弧可能建立在一个发育较好的大陆碎块之上^[11]。这种构造环境下形成的碎屑沉积物主要来自于长英质岩浆岩或火山岩。

综上所述,碎屑沉积岩的地球化学特征指示临清拗陷东部中生代早—中三叠世于靠近大陆岛弧的活动大陆边缘构造环境,其动力学机制与板块俯冲、碰撞作用有关:三叠纪早期秦岭洋壳向华北板块俯冲消减,秦岭洋俯冲消失之后的三叠

纪中晚期,扬子板块和华北板块开始碰撞拼合^[12]。

4 结论

(1)临清拗陷东部三叠系碎屑沉积岩母岩来自于大陆上地壳,岩性主要为沉积岩和花岗岩。

(2)中生代早—中三叠世临清拗陷东部处于靠近大陆岛弧的活动大陆边缘构造环境:早期受秦岭洋壳向华北板块俯冲控制;晚期受扬子板块和华北板块碰撞作用控制。

参考文献:

- [1] 姚纪明,于炳松,陈建强,等. 中扬子北缘上侏罗统-白垩系沉积岩地球化学特征与构造背景分析[J]. 地球化学,

- 2009, 38(3): 231-241.
- [2] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios[J]. *Journal of Geology*, 1986, 94(5): 635-650.
- [3] Taylor S R, McLennan S M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*[M]. Oxford: Blackwell, 1985: 1-312.
- [4] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1986, 92(2): 181-193.
- [5] Odigi M I, Amajor L C. Geochemical characterization of Cretaceous sandstones from the Southern Benue Trough, Nigeria[J]. *Chinese Journal of Geochemistry* 2009, 28(1): 44-54.
- [6] 屈李华, 刘喜方, 李金锁, 等. 北羌塘三叠系康鲁组沉积岩地球化学特征及其物源区和构造背景分析[J]. *现代地质*, 2015, 29(4): 789-803.
- [7] 刘本立. *地球化学基础*[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994: 186-187.
- [8] 王明健, 张训华, 何登发, 等. 临清坳陷东部断裂系统与上古生界煤成气成藏[J]. *中国矿业大学学报*, 2013, 42(3): 394-404.
- [9] 王明健, 张训华, 何登发, 等. 临清坳陷东部早—中侏罗世地层剥蚀量恢复与原型盆地[J]. *特种油气藏*, 2012, 19(6): 17-21.
- [10] Condie K C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales[J]. *Chemical Geology*, 1993, 104(1-4): 1-37.
- [11] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. *Journal of Geology*, 1983, 91(6): 611-627.
- [12] 吴智平, 侯旭波, 李 伟. 华北东部地区中生代盆地格局及演化过程探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(4): 385-399.

GEOCHEMISTRY OF TRIASSIC DEPOSITS IN EASTERN LINQING DEPRESSION AND ITS TECTONIC SIGNIFICANCE

WANG Mingjian^{1, 2, 3}, MENG Xiangjun^{1, 2, 3*}, LI Di⁴, CHEN Xi⁵, ZHU Xiaoqing^{1, 3}

(1 The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao

National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China;

3 Qingdao institute of marine geology, CGS, Qingdao 266071, China;

4 School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

5 North China Sea Air-borne Detachment of China Marine Surveillance, Qingdao 266000, China)

Abstract: The mineral composition of clastic sedimentary rocks is an important indicator to tectonic setting of the sediments. In this paper, we analyzed the major and trace elements of the Triassic clastic deposits sampled from the Eastern Linqing Depression. Results show that, the Triassic samples are mainly greywacke and arkose with low maturity. The parent rock of the clastic sedimentary rock is consistent with continental crust in general which mainly are sedimentary rocks and granite, and the Eastern Linqing Depression was a tectonic environment of active continental margin close to the continental island arc in Early-Middle Triassic Epoch. The dynamic mechanism can be connected to the subduction of the Qinling ocean crust beneath the North China plate in early stage and the collision between the Yangtze plate and North China plate later on. This study provides the geochemical evidence for determining the tectonic environment of the south side to the eastern North China in Triassic period.

Key words: Triassic; geochemistry; tectonic setting; Eastern Linqing Depression