

松辽盆地嫩江组二段油页岩元素地球化学特征

郑玉龙^{1,2)}, 王佰长²⁾, 王占国²⁾, 李慧²⁾, 胡霞³⁾

1) 中国地质大学(北京), 北京, 100012;

2) 大庆油田牡丹江新能源有限责任公司, 黑龙江牡丹江, 157032;

3) 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆, 163712

松辽盆地是中国东北部最大的中、新生代陆相沉积盆地。晚白垩世早中期, 松辽盆地进入整体拗陷发育阶段, 特别是青山口组一段和嫩江组一、二段沉积期, 出现了两次特大湖侵期, 导致在全盆地湖相沉积中发育了 3 套缺氧条件下沉积的黑色页岩和油页岩(陈雪凝等, 2007), 成为盆地两次最大湖泛期的产物。本次工作通过地球化学元素分析测试, 开展了嫩江组二段油页岩常量元素、微量元素和稀土元素特征研究。

1 样品采集与分析

研究样品采自松辽盆地东北部地区 3 口地质井嫩江组二段岩心, 共采集 54 块油页岩样品, 其中 BY1 井 7 块、BY2 井 42 块、BY3 井 5 块, 采样间隔为 1m。样品由河北省区域地质矿产调查研究所实验室进行了 46 种地球化学元素分析测试。常量元素主要用熔片法 X-射线荧光光谱(XRF)法分析测试, 微量元素和稀土元素主要采用等离子体质谱法(ICP-MS)完成。

2 元素地球化学特征

2.1 常量元素特征

松辽盆地嫩江组二段油页岩样品中总含量为 83.11%~93.44%, 平均为 85.99%; 烧失量变化范围为 5.62%~15.58%, 平均为 9.43%。对常量元素进行重新标准化后的数据表明, 松辽盆地嫩江组二段油页岩样品中常量元素以 SiO₂ 为主, 其次是 Al₂O₃、TFe 和 CaO, 各常量元素特征如下: SiO₂ 含量为 62.31%~72.24%, 平均为 66.97%; Al₂O₃ 为 13.87%~20.96%, 平均为 18.22%; TFe 为

3.81%~9.56%, 平均为 6.98%; CaO 为 0.72%~7.37%, 平均为 1.35%。与上地壳常量元素相比, 松辽盆地嫩江组二段油页岩样品呈富 SiO₂ 和 Al₂O₃, 贫铁、CaO、Na₂O 和 K₂O 的特征。

沉积岩中 Al₂O₃/(CaO+K₂O)能够反映样品中稳定组分和不稳定组分的相对含量, 其中不稳定组分主要由伊利石和高岭石等粘土矿物组成(Bhatia, 1985)。松辽盆地嫩江组二段油页岩样品中 Al₂O₃/(CaO+K₂O)比值变化范围为 1.42~7.87, 平均为 5.73, 表明油页岩样品中稳定组分的所占比例较大。

2.2 微量元素特征

图 1 是根据测试数据绘制的微量元素上地壳标准化蛛网图(Taylor et al., 1985)。从图 1 中可以看到, 相对于上地壳, 松辽盆地样品微量元素表现出轻度的亏损或者富集特征。

P、Sr、Zr、Hf 和 Ta 等 5 个元素主要表现出轻度亏损特征: 其中 P 元素相对于上地壳亏损为 1.29~6.38 倍, 平均 3.58 倍; Sr 元素相对于上地壳亏损 1.23~1.78 倍, 平均 1.50 倍; Zr 相对于上地壳亏损 1.01~1.66 倍, 平均 1.36; Hf 相对于上地壳亏损 1.08~1.59 倍, 平均为 1.30 倍; Nb 相对于上地壳亏损 1.39~2.54 倍, 平均为 1.82 倍; Ta 相对于上地壳亏损 1.67~3.22 倍, 平均为 2.30 倍。V、Cr、Co、Ni、Cu、Pb、Zn、Th、U、Cd、Rb、Cs、Sc 和 Ti 等 14 个元素呈现出轻度富集特征, 相对于上地壳亏损倍数均小于 2。与上地壳对比, Mo、Tl、Ba 和 Mn 等元素在不用样品间表现出不同特征, 有的样品表现出轻度亏损, 有的样品表现出轻度富集。各样品的微量元素分布图略有差异, 但是总体上表

注: 本文为国家科技重大专项项目(编号: 2008ZX05055)的成果。

收稿日期: 2015-03-10; 改回日期: 2015-03-20; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 郑玉龙, 男, 1966 年生, 高级工程师, 博士, 主要从事非常规油气地质研究。E-mail: zhengyul@petrochina.com.cn。

现一致的变化趋势,说明松辽盆地嫩江组二段油页岩具有稳定的物质来源,沉积环境稳定。

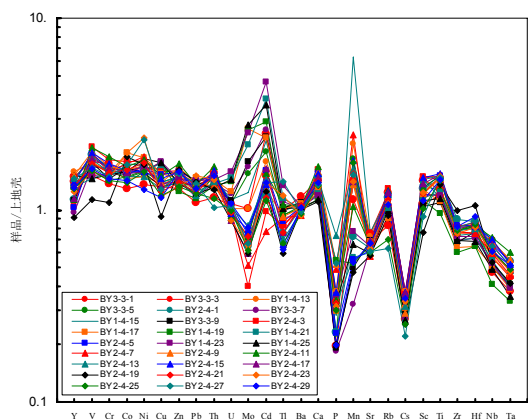


图1 油页岩样品微量元素上地壳标准化蛛网图

2.3 稀土元素特征

松辽盆地嫩江组二段油页岩样品中稀土元素总量 ΣREE 为 $166.29\sim 275.75\mu\text{g} \times 10^{-6}$, 平均为 225.32×10^{-6} , 总体上高于上地壳的平均含量 (146×10^{-6})。轻稀土元素总量 ΣLREE 为 $129.84\sim 214.62 \times 10^{-6}$, 平均为 175.86×10^{-6} ; 重稀土元素总量 ΣHREE 为 $34.62\sim 61.13 \times 10^{-6}$, 平均为 49.47×10^{-6} 。 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 范围为 3.19~4.07, 平均为 3.55, 表明轻、重稀土元素呈现出一定的分异度。 δEu 表现出负异常特征, 变化范围为 0.61~0.72, 平均为 0.66, δCe 变化范围为 0.94~1.05, 平均为 1.00 (表 1)。

图 2 是松辽盆地嫩江组二段油页岩样品稀土元素球粒陨石分配模式图 (Taylor *et al.*, 1985)。从图 2 可以看到, 样品稀土元素的分布呈现出比较明显的右倾特征, 斜率较大, 而重稀土较为平坦, 说明了样品中稀土元素表现出一定程度的分异。样品间稀土元素具有较为一致的变化趋势, 说明油页岩沉积具有较为稳定的物质来源和沉积环境。松辽盆地所有样品的 δEu 均呈现出较为明显的负异常特征。说明了松辽盆地嫩江组二段油页岩当时处于还原的沉积环境, 使得为变价元素 Eu^{3+} 还原为 Eu^{2+} 与其它三价稀土元素分离, 从而导致 δEu 呈现负异常特征。

3 地球化学参数与沉积环境

3.1 Mn/Ti 与物质搬运距离

Mn 元素的氧化物化学性质较为稳定, 能在盆地内搬运到离湖岸较远的地方, 而 Ti 的氧化物稳定

性相对较弱, 只能搬运到离岸相对较近的地方, 因此 Mn/Ti 比值变化往往能够指示物质在盆地内搬运的距离的变化 (邓宏文等, 1993)。通常 Mn/Ti 比值的升高指示了搬运距离 (离湖岸距离) 变长 (或者水体的加深)。松辽盆地嫩江组二段油页岩样品的 Mn/Ti 为 0.05~1.11, 平均为 0.24 (表 1), 说明沉积离湖岸较近, 反映了当时较为稳定的构造环境或者水深环境。

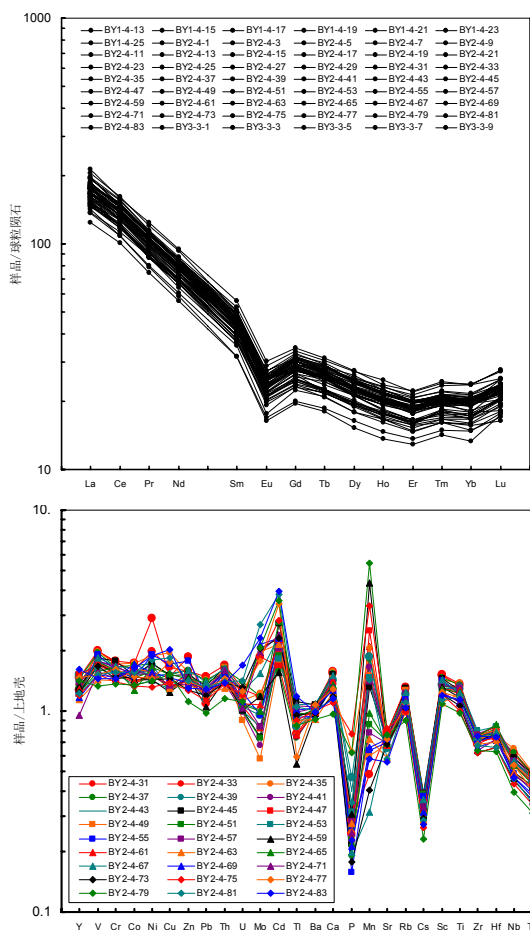


图2 油页岩样品稀土元素球粒陨石标准化分配模式图

3.2 Sr/Cu (Rb/ Sr) 与古气候

沉积岩中的微量元素的含量及比值的变化在一定程度上能够反映古气候的变化。湖泊沉积中, Sr/Cu 比值对气候变化比较敏感, 温暖潮湿时, Sr/Cu 比值呈现出低值 (1.3~5.0); 干旱炎热时, Sr/Cu 比值呈现出高值 (>5.0) (彭雪峰等, 2012)。与之相反, 温暖潮湿时, Rb/Sr 比值呈现出高值; 炎热干旱时, Rb/ Sr 比值呈现出低值 (金章东等, 2002)。松辽盆地嫩江组二段油页岩样品中 Sr/Cu 呈现出高值特征, 变化范围为 3.87~8.74, 平均为 6.63, 而 Rb/ Sr 比值呈现出低值特征, 变化范围为 0.33~0.68,

平均为 0.53 (表 1), 表明松辽盆地嫩江组二段油页岩沉积时处于相对干旱炎热的气候。不同深度样品的 Sr/Cu 虽然呈现出一定的波动变化, 但是总体上相差不大, 其中大部分样品 Sr/Cu 比值主要集中在 6.00~8.00 之间, Sr/Cu 的低值主要出现在深度为 89m~124m 的样品中。Rb/ Sr 比值也相差不大, 大部分样品的比值处于 0.50~0.60 之间。Sr/Cu 和 Rb/ Sr 比值反映了当时的气候波动较小, 总体为干旱炎热的气候。

3.3 V/(V+Ni) 和 δ Eu 与氧化还原环境

V/(V+Ni) 比值和 δ Eu 常作为恢复水体氧化还原条件的地球化学指标 (Jones *et al.*, 1994)。当

V/(V+Ni) 比值 < 0.46 时, 指示沉积水体处于富氧的沉积环境; $0.46 \sim 0.54$ 之间表示沉积水体处于贫氧的沉积环境; 当 V/(V+Ni) 比值 > 0.54 时, 指示沉积水体处于厌氧沉积环境 (彭雪峰等, 2012)。松辽盆地嫩江组二段油页岩样品中 V/(V+Ni) 比值表现出高值特征, 范围为 0.66~0.79, 平均为 0.75 (表 1), 均大于 0.54, 反映了松辽盆地嫩江组二段油页岩处于厌氧的还原条件。与此对应, 各样品的 δ Eu 表现出明显的负异常特征 (图 2), 也说明了当时水体处于还原环境。因此, V/(V+Ni) 和 δ Eu 的数据都表明了松辽盆地嫩江组二段油页岩沉积处于还原的沉积环境。

表 1 油页岩样品主要地球化学参数

	Σ REE ($\times 10^{-6}$)	Σ LREE ($\times 10^{-6}$)	Σ HREE ($\times 10^{-6}$)	Σ LREE/ Σ HREE	δ Eu	δ Ce	Mn/Ti	Sr/Cu	Rb/ Sr	V/(V+Ni)
最小值	166.29	129.84	34.62	3.19	0.61	0.94	0.05	3.87	0.33	0.66
最大值	275.75	214.62	61.13	4.07	0.72	1.05	1.11	8.74	0.68	0.79
平均值	225.32	175.86	49.47	3.55	0.66	1.00	0.24	6.63	0.53	0.75

参 考 文 献 / References

- 陈雪凝, 陆永潮, 吴河勇. 2007. 白垩纪大洋沉积转变期间松辽盆地的沉积响应. 天然气勘探与开发, 30(3): 32-36.
- 邓宏文, 钱凯. 1993. 沉积地球化学与环境分析. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 4-97.
- 金章东, 沈吉, 王苏民, 等. 2002. 岱海的“中世纪暖期”, 湖泊科学, 24(3): 209-216.
- 彭雪峰, 汪立今, 姜丽萍. 2012. 准格尔盆地东南缘芦草沟组油页岩元素地球化学特征及沉积环境指示意义. 矿物岩石地球化学通报, 31(2): 121-127.
- Jones B, Manning DAC. 1994. Comparison of Geological Indices Used for the Interpretation of Palaeoredox Conditions in Ancient Mud-stones. Chemical Geology, 111: 111-129.
- Taylor SR, McLennan SM. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1-312.