

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0285-09

砂岩稀土元素地球化学特征在沉积物源区分析中的应用^① ——以中国东北漠河盆地中侏罗统为例

侯伟¹ 刘招君² 何玉平³ 和钟铧² 张子明⁴ 柏桐⁵ 董德胜⁵

(1. 中国地质大学海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室 北京 100083;

2. 吉林大学地球科学学院 长春 130061; 3. 中国海洋石油研究中心 北京 100027;

4. 中国石油辽河油田钻采工艺研究院 辽宁盘锦 124010; 5. 中国石油辽河油田勘探开发研究院 辽宁盘锦 124010)

摘要 详细取样分析显示,漠河盆地中侏罗统砂岩具有如下稀土元素地球化学特征:(1)绣峰组、额木尔河组和开库康组砂岩的稀土元素球粒陨石标准化配分模式均表现出轻稀土富集、重稀土亏损但具变化平缓明显的 Eu 负异常特征;二十二站组虽呈现轻稀土富集、重稀土亏损但变化平缓的特征,但没有明显的 Eu 负异常特征,反映了砂岩形成时的物源有差别。(2)漠河盆地中侏罗统的物源主要来自于上地壳长英质源区,源岩可能为花岗岩、变质岩和沉积岩的混合;但二十二站组和额木尔河组时期还可能来自下地壳或幔源的深部物质(基性岩)加入导致物源发生了变化。(3)漠河盆地中侏罗统物源区的构造背景为活动大陆边缘的岛弧环境。(4)Ce/Ce* 和 Ce_{anom} 指数显示漠河盆地中侏罗统的古环境为还原环境,对油气生成十分有利。

关键词 漠河盆地 中侏罗统 砂岩 稀土元素 源区 古环境

第一作者简介 侯伟 男 1981 年出生 博士研究生 沉积学与石油地质学 E-mail houweinar@163.com

中图分类号 P595 **文献标识码** A

0 前言

一般认为,沉积岩中稀土元素含量的变化与源区的成分、沉积环境中的交换反应和成岩作用密切相关^[1]。稀土元素(REE)的化学性质非常相近,溶解度普遍较低,在水体中停留的时间极短,因此能够快速进入到细粒沉积物中且不易发生分异^[2,3],使得细粒沉积物能较好地保存源区的地球化学信息^[3-6]。因此,研究稀土元素的地球化学特征对揭示泥质岩的物源、古环境、古气候等具有重要的意义,是当前元素地球化学的重点研究领域之一^[7]。本文分析了漠河盆地中侏罗统砂岩的稀土元素地球化学特征,并结合区域地质背景和前人研究成果,探讨了该区砂岩形成时的物源特征和沉积环境的演变。

1 地质背景

漠河盆地位于黑龙江省的西北部(图 1),地理座标为东经 121°07'~125°45',北纬 52°~54°。盆地呈东西向展布,长约 300 km,宽约 80 km,面积为 21 500 km²。盆地南部为大兴安岭,北面及东面过黑龙江延入俄罗斯境内,与北部俄罗斯境内的上阿穆尔盆地相

连为同一盆地(图 1)。全区被大面积森林覆盖,地层出露较差,研究程度很低。

漠河盆地大地构造上归属蒙古—鄂霍茨克造山带中的额尔古纳地块,该地块是黑龙江中小地块群的一部分^[8],其北、西与西伯利亚板块相邻,东与布烈雅—佳木斯地块相接,南与兴安地块相接,处于西伯利亚板块和黑龙江中小地块群碰撞缝合的部位。在现今大地构造演化上占有重要的地位,故对其研究意义重大。

漠河盆地中侏罗统发育的地层主要有绣峰组、二十二站组、额木尔河组、开库康组。(1)绣峰组:下部以砂砾岩、砾岩为主夹细砂岩;中部以岩屑长石砂岩为主夹砂质凝灰岩、粉砂岩、泥岩及煤线;上部以砂砾岩、砾岩为主夹细砂岩。产植物和孢粉化石,不整合于基底之上。(2)二十二站组:下部为灰、黄绿色岩屑长石砂岩及灰—灰黑色泥岩、粉砂岩、中细砂岩互层,产双壳类、腹足类及叶肢介等化石;上部为灰—灰绿色岩屑长石砂岩夹粉砂岩、粉砂质泥岩。产真蕨、苏铁、银杏等植物化石及丰富的双壳类、介形虫、轮藻等化石。局部为含砾砂岩、砂砾岩、泥岩及煤线,与下伏绣峰组整合接触。二十二站组相变较大,由西向东

^①国土资源部全国油气资源战略选区大庆外围项目(批准号: XQ-2004-07)资助。

收稿日期: 2009-02-12 收修修改稿日期: 2009-04-22

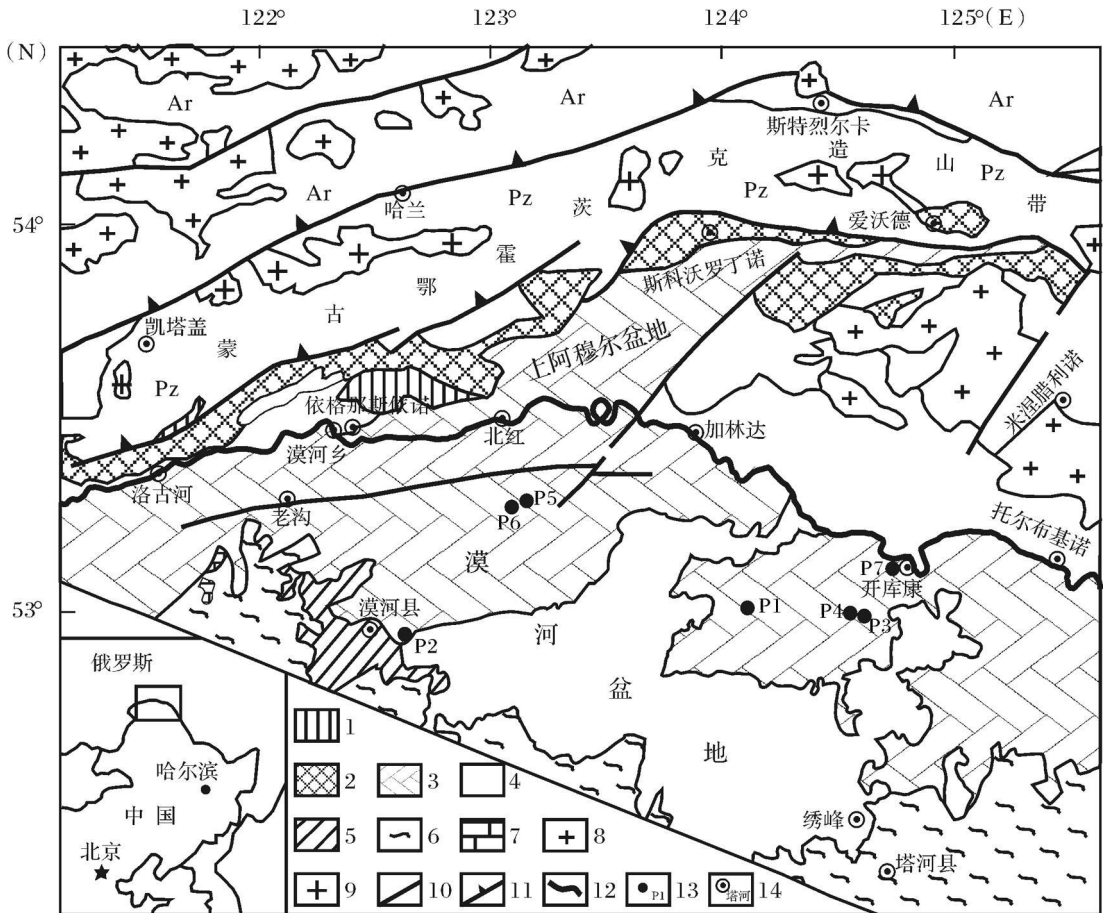


图 1 黑龙江省漠河和俄罗斯阿穆尔地区地质略图(据和政军等^[9], 2003, 有修改)

1. 上三叠统; 2. 下中侏罗统; 3. 中侏罗统(俄罗斯地区包括部分上侏罗统); 4. 上侏罗统—白垩系;
5. 元古代变质岩; 6. 元古代花岗岩; 7. 古生界; 8. 中生代花岗岩; 9. 古生代花岗岩; 10. 断裂;
11. 逆冲推覆断裂; 12. 河流; 13. 采样位置; 14. 地名

Fig 1 Sketch geological map of the Mohe in Heilongjiang Province and Amur in Russian (after He Zhengjun, *et al.* 2003 modified)

沉积碎屑由粗变细, 由河流相、滨湖相变为湖相; 西部以产植物化石为主夹多层煤线及煤层, 东部则以产动物化石为主。(3) 额木尔河组: 下部以中细砂岩、粗砂岩为主夹砾岩、粉细砂岩及泥质页岩; 上部以中细砂岩与粉砂岩、炭质页岩、泥质页岩互层夹粗砂岩及煤层。产腹足类、介形类、植物和孢粉化石, 与下伏二十二站组整合接触。(4) 开库康组: 呈 EW 向带状分布于盆地东部北侧黑龙江南岸一带, 为一套粗碎屑沉积。下部以灰色、黄褐色复成分砂岩为主, 砾岩次之, 夹灰黑色粉、细砂岩、泥质粉砂岩; 上部以灰色、灰褐色砾岩为主, 黄绿、灰色复成分砂岩次之, 夹灰黑色细砂粉砂岩、粉砂岩。含有植物化石, 与下伏额木尔河组为微角度不整合接触。

2 样品和测试方法

以野外露头样品为研究对象, 对漠河盆地中侏罗统的绣峰组、二十二站组、额木尔河组、开库康组等层位的砂岩进行研究, 取样位置见图 1(P1~P7)。其中: 绣峰组样品 D1、D4 来自 P1, D2、D3 来自 P2, 二十二站组样品 D5、D6、D7 来自 P3, D8、D9、D10 来自 P4, 额木尔河组样品 D11、D12 来自 P5, D13、D14 来自 P6, 开库康组样品 D16、D17、D18 来自 P7。样品稀土元素由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所采用等离子体质谱法(ICP-MS)测定完成。为了监控测试精度和准确度, 进行了重复样与标样分析, 结果表明元素的相对偏差小于 5%, 表明总体分

表 1 漠河盆地中侏罗统砂岩稀土含量 ($\times 10^{-6}$)Table 1 REE content of Middle Jurassic sandstone in Mohe Basin ($\times 10^{-6}$)

样品编号	层位	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
D18	开库康组	31.87	70.10	8.47	29.90	5.35	1.19	4.47	0.69	3.95	0.78	2.24	0.35	2.09	0.34
D17	开库康组	31.87	70.80	8.75	31.30	5.82	1.22	4.82	0.76	4.29	0.82	2.42	0.36	2.23	0.36
D16	开库康组	28.13	61.60	7.41	26.00	4.50	1.13	3.57	0.53	2.91	0.54	1.67	0.25	1.52	0.25
D15	额木尔河组	27.17	58.30	7.10	24.40	4.35	0.99	3.75	0.59	3.62	0.71	2.19	0.34	2.10	0.35
D14	额木尔河组	24.86	56.40	6.99	24.80	4.81	1.08	4.30	0.71	4.35	0.84	2.56	0.39	2.41	0.39
D13	额木尔河组	24.77	52.60	6.67	23.50	4.32	0.97	3.72	0.61	3.69	0.71	2.13	0.34	2.03	0.33
D12	额木尔河组	28.61	59.10	7.40	26.30	5.12	1.17	4.52	0.75	4.41	0.84	2.43	0.36	2.24	0.37
D11	额木尔河组	24.77	53.70	6.62	23.30	4.31	0.96	3.84	0.66	3.96	0.77	2.24	0.35	2.03	0.33
D10	二十二站组	22.75	53.10	6.71	24.20	4.49	1.20	3.86	0.63	3.67	0.73	2.13	0.32	1.92	0.32
D9	二十二站组	28.99	67.00	8.38	30.40	5.67	1.54	4.98	0.78	4.67	0.88	2.58	0.40	2.33	0.36
D8	二十二站组	24.48	57.40	7.15	25.80	4.60	1.19	3.84	0.60	3.49	0.64	1.87	0.30	1.76	0.27
D7	二十二站组	26.02	61.80	7.71	27.90	5.28	1.34	4.62	0.77	4.54	0.88	2.56	0.39	2.35	0.36
D6	二十二站组	32.64	73.30	9.09	32.60	5.82	1.53	4.90	0.76	4.32	0.83	2.37	0.36	2.17	0.33
D5	二十二站组	26.21	61.90	7.50	27.00	4.71	1.33	4.00	0.62	3.57	0.67	1.94	0.28	1.77	0.27
D4	绣峰组	33.12	73.60	8.88	31.00	5.31	1.23	4.56	0.71	4.15	0.80	2.40	0.36	2.28	0.37
D3	绣峰组	31.68	67.30	7.88	26.10	4.32	0.55	3.40	0.49	2.56	0.45	1.34	0.20	1.19	0.19
D2	绣峰组	28.13	59.20	6.87	22.40	3.41	0.64	2.61	0.36	1.79	0.31	0.98	0.15	0.88	0.14
D1	绣峰组	29.38	63.30	7.83	27.50	4.91	1.06	4.10	0.66	3.87	0.73	2.18	0.34	2.10	0.34
	PAAS	38.00	80.00	8.90	32.00	5.60	1.10	4.70	0.77	4.40	1.00	2.90	0.40	2.80	0.43
	NASC	32.00	73.00	7.90	33.00	5.70	1.24	5.20	0.85	5.80	1.04	3.40	0.50	3.10	0.48
	UCC	30.00	64.00	7.10	26.00	4.50	0.88	3.80	0.64	3.50	0.80	2.30	0.33	2.20	0.32

* PAAS和 NASC分别为澳大利亚后太古宙平均页岩^[11]和北美页岩组合样^[12], UCC为全球平均大陆地壳成分^[11]。

析结果可靠, 测试结果见表 1。详细的分析流程和测试精度见文献^[10]。各地层的数据为该层位各样品的平均值。

3 分析结果

3.1 稀土元素配分模式

从稀土元素配分模式图(图 2-A)中可以看到: 漠河盆地绣峰组、额木尔河组和开库康组砂岩的稀土元素球粒陨石标准化分布模式均呈现轻稀土富集, 重稀土亏损但变化平缓特征, $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ 和 $L_{\text{N}}/Y_{\text{N}}$ 均大于 1(表 2), Eu 负异常明显, 平均值分别为 0.65、0.74 和 0.78。二十二站组虽呈现轻稀土富集, 重稀土亏损但变化平缓的特征, $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ 和 $L_{\text{N}}/Y_{\text{N}}$ 均大于 1(表 2), 但 Eu 负异常不明显, 平均值为 0.89。

3.2 稀土元素全球平均大陆上地壳成分(UCC)标准化图解

从各组砂岩的稀土元素全球平均大陆上地壳成分(UCC)标准化图解(图 2-B)中可以看到, 各组砂岩的稀土元素大陆上地壳标准化值变化很大, 表现为不同的分异形式。其中: 绣峰组和开库康组砂岩总体

呈轻稀土相对富集的右倾模式, $(L_{\text{N}}/Y_{\text{N}})_{\text{UCC}} > 1$ (表 2), 平均值分别为 1.60 和 1.17, Eu 略显正异常; 二十二站组和额木尔河组与它们明显不同, 呈轻稀土亏损, 重稀土相对富集的左倾模式, $(L_{\text{N}}/Y_{\text{N}})_{\text{UCC}}$ 大部分 < 1 (表 2), 平均值分别为 0.97 和 0.89, 有比较明显的 Eu 正异常。

3.3 Ce 异常

Ce/Ce^* 比值能灵敏反映沉积环境的氧化还原条件, $Ce/Ce^* > 1$ 为正异常, 表示还原环境; $Ce/Ce^* < 0.95$ 为负异常, 表示氧化环境^[15]。漠河盆地各组砂岩的 Ce 异常不明显, Ce/Ce^* 比值均介于 0.95~1.03 之间(表 2)。

3.4 Ce_{anom} 指数

Elderfield 提出了 Ce_{anom} 指数^[16], 其计算公式为: $Ce_{\text{anom}} = \lg[3C_{\text{Ce}}/(2L_{\text{N}} + Nd_{\text{N}})]$, 式中 N 为一个给出样品的北美页岩标准化值^[2]。目前, Ce_{anom} 指数已被作为判断古水介质氧化还原条件的标志。以 $Ce_{\text{anom}} > -0.1$ 表示 Ce 的富集, 反映水体呈缺氧的还原环境; 而 $Ce_{\text{anom}} < -0.1$ 表示 Ce 亏损, 反映水体呈氧化环境^[2]。漠河盆地各组砂岩的 Ce_{anom} 指数均大于 -0.1(表 2)。

表 2 漠河盆地中侏罗统砂岩稀土元素地球化学特征

Table 2 The REE geochemical characteristics of Middle Jurassic sandstone in Mohe Basin

样号编号	层位	Σ REE	L/H	(La/Yb) _N	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Ce/Ce [#]	Ce _{anom}	(La/Yb) _{UCC}
D-13	开库康组	161.79	9.85	10.06	0.75	1.00	0.93	-0.003	1.12
D-14	开库康组	165.83	9.32	9.44	0.71	0.99	0.92	-0.005	1.05
D-16	开库康组	140.01	11.46	12.21	0.87	1.00	0.93	-0.002	1.36
D-1	额木尔河组	135.96	8.96	8.54	0.76	0.98	0.91	-0.007	0.95
D-2	额木尔河组	134.90	7.45	6.80	0.73	1.00	0.93	0.002	0.76
D-12	额木尔河组	126.38	8.32	8.07	0.75	0.96	0.89	-0.019	0.90
D-15	额木尔河组	143.62	8.02	8.44	0.75	0.95	0.88	-0.027	0.94
D-17	额木尔河组	127.83	8.02	8.07	0.73	0.98	0.91	-0.009	0.90
D-3	二十二站组	126.03	8.28	7.84	0.89	1.01	0.94	0.005	0.87
D-4	二十二站组	158.97	8.36	8.21	0.90	1.01	0.94	0.003	0.91
D-8	二十二站组	133.39	9.45	9.18	0.87	1.02	0.94	0.009	1.02
D-5	二十二站组	146.52	7.89	7.31	0.84	1.02	0.95	0.012	0.81
D-9	二十二站组	171.02	9.66	9.91	0.88	1.00	0.93	-0.002	1.10
D-10	二十二站组	141.77	9.81	9.78	0.95	1.03	0.96	0.015	1.09
D-19	绣峰组	168.77	9.80	9.61	0.77	1.00	0.93	0.002	1.07
G-20	绣峰组	147.65	14.03	17.60	0.44	1.00	0.93	-0.001	1.95
G-21	绣峰组	127.87	16.71	21.21	0.66	1.00	0.93	-0.001	2.36
G-22	绣峰组	148.29	9.36	9.23	0.73	0.98	0.91	-0.011	1.03
	PAAS	183.00	9.50	9.20	0.70				1.00
	NASC	173.20	7.50	7.00	0.66				0.80
	UCC	146.40	9.50	9.20	0.65				

L/H 为轻重稀土比值, 下标 N 表示元素相对于球粒陨石标准化, 下标 A 表示元素相对于北美页岩组合样标准化, 下标 UCC 表示元素相对于上陆壳标准化, $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$, $Ce/Ce^* = Ce_N / (La_N \times Pr_N)^{1/2}$, $Ce/Ce^{\#} = Ce_N / (La_N \times Pr_N)^{1/2}$, $Ce_{anom} = \lg [3Ce_N / (2La_N + Nd_N)]$ 。由于 Masuda 等^[13]的 6 个 Leedy 球粒陨石数据是采用质谱同位素稀释法测定的, 数据准确, 应用较广, 故本文中球粒陨石标准均采用该平均值^[14]。

4 讨论

4.1 稀土特征与源岩

稀土元素的特征对于指示源岩具有重要的意义, 如表示 Eu 异常程度的 Eu/Eu^* 比值在稀土元素地球化学参数中占有重要的地位, 它可以灵敏地反映体系内的地球化学状态, 并可作为鉴别物质来源的重要参数^[17]。中酸性侵入岩(如花岗岩^[18])和火山岩、长英质变质岩, 以及来自大陆源区的沉积岩等 Eu 多显示为负异常。漠河盆地各组砂岩的 Eu/Eu^* 比值在 0.44~0.95 之间(表 2), 显示负异常, 记录了源岩的 Eu 亏损。

漠河盆地绣峰组、额木尔河组、开库康组砂岩的稀土配分模式(图 2-A)均呈轻稀土富集, 重稀土亏损但变化平缓, 明显的 Eu 负异常特征, 说明其物质主要来源于上地壳。上地壳中大离子亲石元素的含量相对于原始地幔明显偏高, 因而轻稀土富集重稀土亏损; 上地壳内缺少使重稀土分馏的因素, 因而重稀土含量均匀。Eu 的负异常是由于元素分异作用使上地壳中 Eu 元素缺失, 而下地壳中 Eu 元素富集^[19]。二十二站组砂岩的稀土配分模式(图 2-A)虽然呈轻稀

土富集, 重稀土亏损但变化平缓的特征, 但 Eu 没明显的异常特征, 说明其物质主要来源于上地壳, 但有深部物质混入。

在稀土元素配分模式相似的情况下, 用稀土元素全球平均大陆上地壳成分(UCC)标准化图解可得到不同的分异形式, 这样可以对源岩特征做进一步区分^[6, 20]。在漠河盆地中侏罗统砂岩稀土元素全球平均大陆上地壳成分(UCC)标准化图解中(图 2-B), 二十二站组和额木尔河组与其它组明显不同, 呈轻稀土亏损, 重稀土相对富集的左倾模式, $(La/Yb)_{UCC} < 1$ (表 2); 且 Eu 有明显正异常。这说明不同时代的物源发生了很大的变化, 在二十二站组和额木尔河组沉积期, 还可能有来自下地壳或幔源的深部物质加入, 导致物源发生了很大的变化。

为进一步揭示源岩的属性, 利用 La/Th-Hf 源岩属性判别图解^[21]对研究区砂岩的源岩属性进行了分析。在 La/Th-Hf 图解上(图 3), 各组样品大部分落入长英质物源区, 只有个别二十二站组和额木尔河组样品落入混合长英质/基性物源区。说明各组物源主要来自于上地壳长英质源区, 但二十二站组和额木尔河组有深部物质(基性岩)混入。

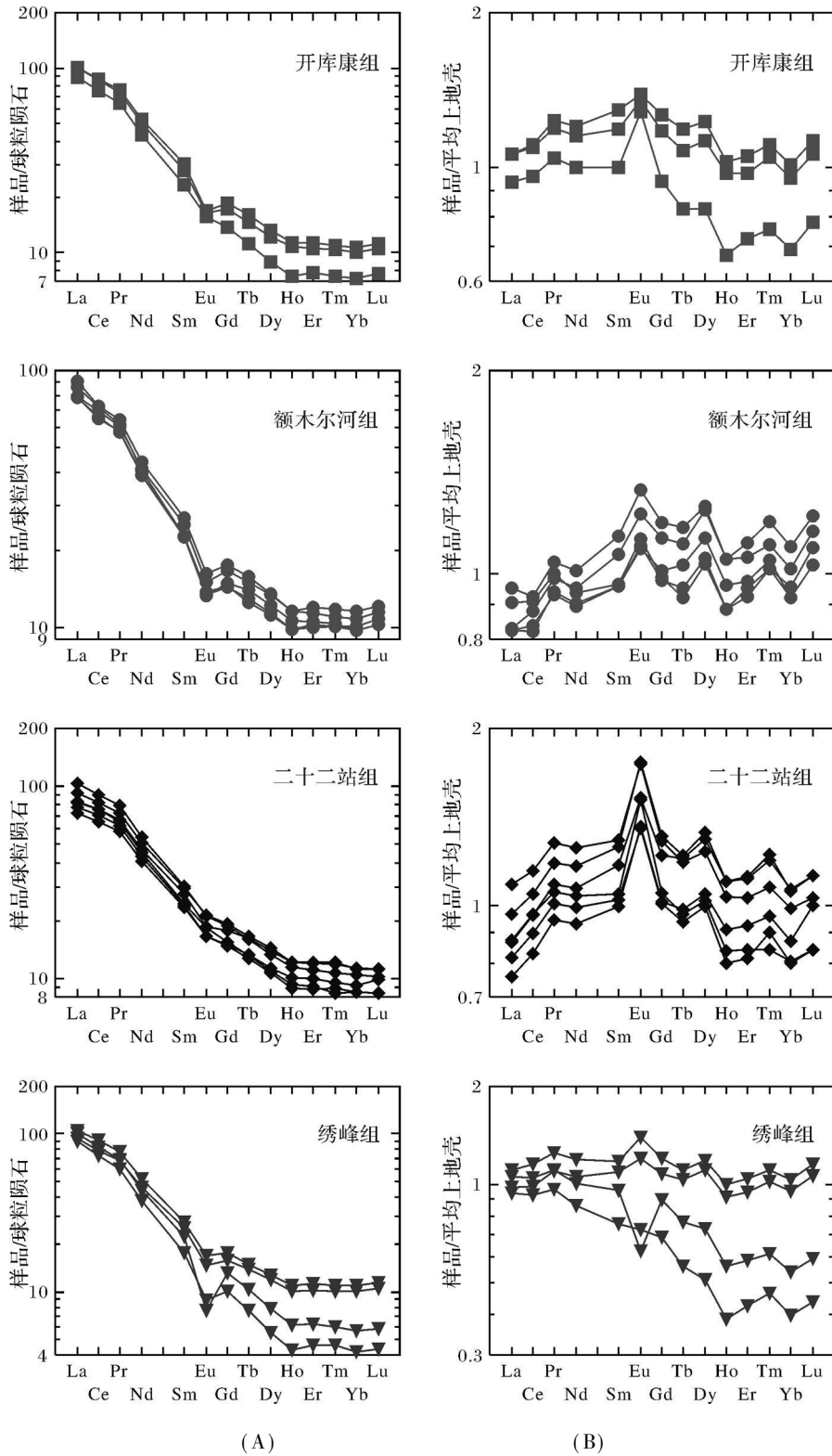


图 2 漠河盆地中侏罗统砂岩稀土元素配分模式图及全球平均大陆上地壳成分 (UCC) 标准化图解

(A) 稀土元素配分模式图; (B) 全球平均大陆上地壳成分 (UCC) 标准化图解

Fig. 2 Chondrite-normalized REE diagrams and UCC-normalized REE diagrams of the Middle Jurassic sandstone in Mohe Basin

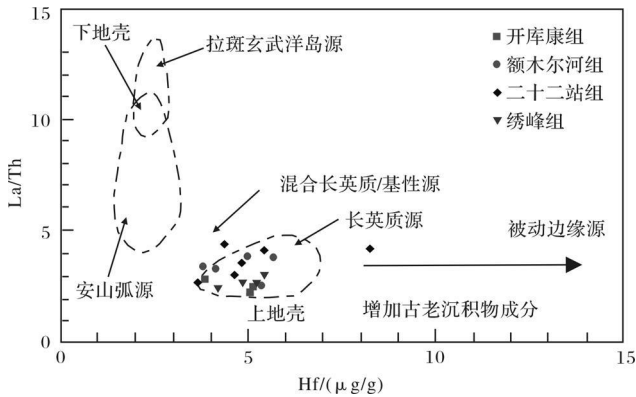


图 3 漠河盆地中侏罗统砂岩 La/Th—Hf 判别图解
(底图据 Gu X X 等, 2002)

Fig 3 The diagrams of La/Th—Hf discrimination of the Middle Jurassic sandstone in Mobei Basin (after Gu X X, et al 2002)

结合区域地质资料, 漠河—上阿穆尔盆地周围广泛发育长英质物源区(图 1)。盆地北部为蒙古—鄂霍茨克造山带至西伯利亚板块南缘, 主要发育前中生代—中生代的花岗岩和古生代—早侏罗纪地层; 盆地南部为大兴安岭, 主要发育前中生代—中生代的花岗岩和元古代变质岩。P1 采样点绣峰组样品的岩屑成分统计表明: 以花岗岩岩屑为主, 还有少量黑云母碎屑, 说明其源岩以花岗岩为主。P5 和 P6 采样点额木尔河组样品的岩屑成分统计表明: 变质岩(石英片岩)和沉积岩(粉砂岩)为主, 说明其源岩以变质岩和沉积岩为主。P7 采样点开库康组样品的岩屑成分统计表明: 花岗岩和变质岩为主, 少量中酸性火山岩, 说明其源岩以花岗岩、变质岩为主, 少量中酸性火山岩。因而该时期研究区的源岩可能主要为花岗岩、变质岩和沉积岩的混合。随着物源区剥蚀深度增加, 母岩的岩石组合类型出现明显变化。二十二站组和额木尔河组沉积期, 可能有一些深部物质(基性岩)开始遭受剥蚀并为盆地提供物源, 导致该时期沉积物中深部物质增加(图 2 图 3)。

4.2 稀土特征与古水介质条件

Ce 异常与 Ce_{anm} 指数被广泛使用, 作为判断古水介质氧化还原条件的标志^[1, 2, 15, 17, 22]。虽然漠河盆地各组砂岩的 Ce/Ce^* 比值均介于 0.95~1.03 之间, Ce 异常不明显; 但是 Ce_{anm} 指数均大于 -0.1。这反映各组砂岩形成时古水介质均为还原环境。这与其它相标志确定的沉积环境的分析结果相吻合。还原环境下有利于动植物遗体的保存和有机质的转化, 易于形成具有工业价值的煤田或油气田。在本区各组均

可见煤点, 二十二站组、额木尔河组及开库康组的煤点分布较多, 是煤田勘探有利层位^[23]。

4.3 稀土特征与大地构造背景

稀土元素特征常被用来判断现代和古沉积物的构造背景或物源区性质。Murry 对加利福尼亚海岸圣弗兰西斯科湾的燧石和页岩(侏罗纪和白垩纪)的研究表明, Ce 异常与沉积盆地的构造背景有关, 以北美页岩作为标准化值, 距洋脊顶 400 km 之内的扩张脊附近, 有明显的 Ce 负异常, Ce/Ce^* 为 0.29; 大洋盆地中等 Ce 负异常, Ce/Ce^* 为 0.55; 大陆边缘区(陆块 1000 km 之内)的 Ce 负异常消失或为正异常, Ce/Ce^* 为 0.90~1.30^[22]。漠河盆地中侏罗统各组砂岩的 Ce/Ce^* 比值(以北美页岩作为标准化值)均介于 0.88~0.96 之间(表 2), 为大陆边缘环境。

Bhatia 归纳总结了不同构造背景下的砂岩 REE 特征值(表 3), 认为从次稳定的被动大陆边缘到非稳定的大陆岛弧区, $\sum REE$, $\sum LRREE/\sum HREE$, La/Yb 值等明显降低^[24]。漠河盆地中侏罗统砂岩有关参数与各种构造背景下砂岩的参数相比(表 3), 其岩石化学成分与活动大陆边缘和大陆岛弧比较相似。

Bhatia, Crook^[25] 和 Taylor, McLennan^[26] 认为, 一些不活泼微量元素(如 La/Th , Y , Zr/Ti , Co/Ni)及其比值(如 Zr/Hf , Eu/Eu^* , Ta/Nb , La/Sc , Th/U 等)在沉积过程中不发生明显改变, 在砂岩物源区和判别构造环境上作用很大。本文利用 La—Th—Sc 图解^[25] 和 $Ti/Zr-La/Sc$ 图解^[25] 对漠河盆地中侏罗统砂岩样进行了投点分析, 结果表明: 在 La—Th—Sc 构造背景判别图解中(图 4-a), 除 2 个绣峰组样品偏离外, 其余砂岩样品均落入大陆岛弧区或其边界位置; 在 $Ti/Zr-La/Sc$ 构造背景判别图解中(图 4-b), 除 2 个绣峰组样品和一个二十二站组样品偏离外, 其余砂岩样品均落入活动大陆边缘区和大陆岛弧区内或其临近位置。

以上各种判别方法中提及的活动大陆边缘指安第斯型盆地, 发育在或者靠近厚的大陆边缘; 大陆岛弧指弧间前弧或者后弧盆地, 靠近火山弧, 发育在厚的大陆地壳或者薄的大陆边缘上^[25], 二者均属于广义的活动大陆边缘环境。因此, 综合各种构造判别结果可以看出, 漠河盆地中侏罗统(绣峰组、二十二站组、额木尔河组和开库康组)物源区的构造背景为活动大陆边缘的大陆岛弧环境。结合区域地质资料, 漠河—上阿穆尔盆地周围广泛发育活动大陆边缘环境。漠河—上阿穆尔盆地北部为西伯利亚板块南缘,

表 3 各种构造背景下砂岩的 REE 参数表 (据 Bhatia^[24])

Table 3 The REE geochemical parameter of sandstone in different tectonic settings (after Bhatia 1985)

构造背景	物源区类型	La	Ce	ΣREE	La/Yb	LaN/YbN	L/H	Eu/Eu*
大洋岛弧	未切割的岩浆弧	8±1.7	19±3.7	58±10	4.2±1.3	4.2±1.3	3.8±0.9	1.01±0.11
大陆岛弧	切割的岩浆弧	27±4.5	59±8.2	146±20	11.0±3.6	7.5±2.5	7.7±1.7	0.79±0.13
活动大陆边缘	基底隆起	37	78	186	12.5	8.5	9.1	0.6
被动大陆边缘	克拉通内构造高地	39	85	210	15.9	10.8	8.5	0.82
	开库康组	30.62	67.50	155.87	16.01	10.57	10.21	0.78
研究区	额木尔河组	26.04	56.02	133.74	12.09	7.98	8.16	0.74
	二十二站组	26.85	62.42	146.28	13.18	8.71	8.91	0.89
	绣峰组	30.58	65.85	148.15	21.83	14.41	12.48	0.65

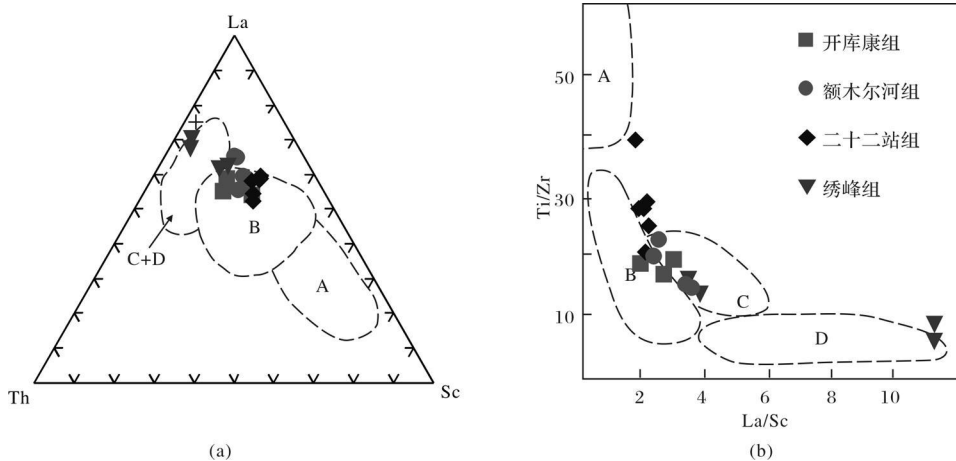


图 4 漠河盆地侏罗系砂岩地球化学构造背景判别图

(底图据 Bhatia M R, Crook K A W, 1986)

(a) La—Th—Sc 图解; (b) Ti/Zr—La/Sc 图解; A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧;
C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘

Fig. 4 Diagram of tectonic setting discrimination for the Middle Jurassic sandstone in Mohe Basin (after Bhatia M R, Crook K A W, 1986)

其具有活动大陆边缘性质, 发育有岩浆弧^[27]。盆地南部为大兴安岭北部, 其岩石构成具有类似活动大陆边缘的性质^[28-30]。

这里也存在一些问题还没有解决。漠河—上阿穆尔盆地周边均发育长英质活动大陆边缘物源区, 仅仅依靠地球化学特征无法确定其物源究竟来自盆地北部的西伯利亚板块南缘物源区, 还是盆地南部的大兴安岭北部物源区, 还是二者兼而有之。也无法确定真正的母岩组合。进而也无法为讨论盆地的性质和形成演化提供依据。因此, 利用砂岩稀土元素地球化学特征进行沉积物源区分析是行之有效的, 但也应注意其局限性。当存在多个在地球化学特征上具有相似属性的物源区时, 依靠地球化学特征虽能确定其共同的母岩类型和构造背景, 但无法确定沉积物的真正物源区和母岩组成。在这种情况下, 需结合古水流动

析、沉积法和碎屑岩类法等多种物源分析方法, 才能得出更准确的结论。

5 结论

(1) 漠河盆地中侏罗统物源主要来自上地壳长英质物源区, 源岩可能为花岗岩、变质岩和沉积岩的混合; 但二十二站组和额木尔河组时期还可能来自下地壳或幔源的深部物质 (基性岩) 加入, 导致物源发生了变化。

(2) 漠河盆地中侏罗统物源区的构造背景为活动大陆边缘的岛弧环境。

(3) 漠河盆地中侏罗统各组砂岩形成时古水介质均为还原环境, 对油气生成十分有利。

致谢 感谢王伟涛、王杰和陈秀艳同学对本文的写作提供了宝贵的建议和热心的帮助!

参考文献 (References)

- 1 朱如凯, 郭宏莉, 何东博, 等. 中国西北地区石炭系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义 [J]. 现代地质, 2002, 16(2): 130-136 [Zhu Rukai, Guohongli, He Dongbo, *et al.* The REE geochemical characteristics of Carboniferous mudstone in northwest China [J]. *Geoscience*, 2002, 16(2): 130-136]
- 2 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 143-223 [Zhao Zhenhua. Principles of Trace Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1997: 143-223]
- 3 杨守业, 李从先. REE 示踪沉积物物源研究进展 [J]. 地球科学进展, 1999, 14(2): 164-167 [Yang shouye, Li Congxian. Research progress in REE tracer for sediment source [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(2): 164-167]
- 4 Cullers R L, Barrett T, Carlson R, *et al.* REE and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment [J]. *Chemical Geology*, 1987, 63: 275-297
- 5 Cullers R L, Basu A, Suttner L J. Geochemical signature of provenance in sand-size mineral in soil and stream near the tobacco root batholith Montana USA [J]. *Chemical Geology*, 1988, 70: 335-348
- 6 张沛, 郑建平, 张瑞生, 等. 塔里木盆地塔北隆起奥陶系—侏罗系泥岩稀土元素地球化学特征 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 740-746 [Zhang Pei, Zheng Jianping, Zhang Ruisheng, *et al.* Rare Earth Elemental characteristics of Ordovician-Jurassic mudstone in Tabei Uplift Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(4): 740-746]
- 7 刘锐娥, 卫孝峰, 王亚丽, 等. 泥质岩稀土元素地球化学特征在物源分析中的意义——以鄂尔多斯盆地上古生界为例 [J]. 天然气地球科学, 2005, 23(6): 788-791 [Liu Rui'e, Wei Xiaofeng, Wang Yali, *et al.* The geochemical characteristics of rare earth elements of the shale rock in the geologic significance of the analysis of the sedimentary provenance: an example in the Upper Paleozoic in the Ordos Basin [J]. *Natural Gas & Geoscience*, 2005, 23(6): 788-791]
- 8 谢鸣谦. 拼贴板块构造及其驱动机理——中国东北及邻区的大地构造演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 66-70 [Xie Mingqian. Spelled and Adhbiting Slab Structures and Their Driving Mechanism: Tectonics Evolutions in the Northeast China and Neighboring Areas [M]. Beijing: Science Press, 2000: 66-70]
- 9 和政军, 李锦铁, 莫申国, 等. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(12): 1219-1226 [He Zhengjun, Li Jintie, Mo Shenguo, *et al.* Tectonic setting of geochemical characteristics and provenance analysis of the sandstones in Mohe foreland basin [J]. *Science in China Series D*, 2003, 33(12): 1219-1226]
- 10 Liu S L, He M, Hu S H. Precise determination of trace elements in geological samples by ICP-MS using compromise conditions and fine matrix-matching strategy [J]. *Analytical Sciences*, 2000, 16: 1290-1296
- 11 Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. Oxford/London: Blackwell Scientific Publication, 1985: 1-301
- 12 Haskin M A, Haskin L A. Rare earth in European shales: a redetermination [J]. *Science*, 1966, 154: 507-509
- 13 Masuda A, Nakamura N, Tanaka T. Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37(2): 239-248
- 14 赵志根. 不同球粒陨石平均值对稀土元素差数的影响 [J]. 标准化报道, 2000, 21(3): 15-16 [Zhao Zhigen. Effect of different chondrite on the parameter of rare-earth elements [J]. *Reporting of Standardization*, 2000, 21(3): 15-16]
- 15 王中刚, 于学远, 赵振华. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 90-93 [Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua. Rare Earth Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1989: 90-93]
- 16 Elderfield H, Greaves M J. The rare earth elements in seawater [J]. *Nature*, 1982, 296: 214-219
- 17 刘俊来, 杨香华, 于水, 等. 东海盆地丽水凹陷古新统沉积岩的稀土元素地球化学特征 [J]. 现代地质, 2003, 17(4): 421-427 [Liu Junlai, Yu Xianghua, Yu Shui, *et al.* The REE geochemical characteristics of Paleocene in the Lishui sag of the Donghai Basin [J]. *Geoscience*, 2003, 17(4): 421-427]
- 18 王清晨, 丛柏林. 大别山超高压变质岩的地球动力学意义 [J]. 中国科学: B 辑, 1996, 26(3): 271-276 [Wang Qingchen, Cong Bolin. Geodynamic significance of the ultrahigh-pressure (UHP) metamorphic rocks from the Dabie orogenic belt [J]. *Science in China Series B*, 1996, 26(3): 271-276]
- 19 McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, *et al.* Geochemical approaches to sedimentation provenance and tectonics [C] // Jonhanson M J, Basu A, eds. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Boulder, Colorado: Geological Society of America Special Paper 284, 1993: 21-40
- 20 侯伟, 刘招君, 王伟涛, 等. 黑龙江省东部绥滨凹陷下白垩统泥岩稀土元素地球化学特征 [J]. 古地理学报, 2007, 9(2): 207-215 [Hou Weian, Liu Zhaojun, Wang Weitao, *et al.* REE geochemical characteristics of the Lower Cretaceous mudstone in Suibin depression, eastern of Heilongjiang province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(2): 207-215]
- 21 Gu X X, Liu J M, Zheng M H, *et al.* Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: geochemical evidence [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2002, 72(3): 393-407
- 22 Murry R W. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale [J]. *Geology*, 1990, 18: 268-271
- 23 冯宇. 漠河—开库康地区煤炭资源概况 [J]. 中国煤田地质, 1992, 4(2): 36-39 [Feng Yu. General situation of coal resources in Mohe-Kaikang region [J]. *Coal Geology of China*, 1992, 4(2): 36-39]
- 24 Bhatia M R. Rare earth elements geochemistry of Australian Paleozoic graywacks and mudrocks: Provenance and tectonic control [J]. *Sedimentary Geology*, 1985, 45: 97-113
- 25 Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. *Contrib Mineral Petrology*, 1986, 92: 181-193

- 26 Taylor S R, Mclennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks [M]. Oxford London: Blackwell Scientific Publication, 1985: 1-301
- 27 布鲁卡耶夫, 纳塔林. 俄罗斯远东南部的增生构造 [J]. 徐国光 [译]. 世界地质, 1996, 15(2): 35-38 [Букаев, Натал. Adhiding Structures in southern of Far Eastern Russia [J]. Translated by Xu Guoguang. Global Geology 1996 15(2): 35-38]
- 28 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1993 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. Regional Geology of Heilongjiang Province [M]. Beijing Geological Publishing House 1993]
- 29 孙广瑞, 李仰春, 张昱. 额尔古纳地块基底地质构造 [J]. 地质与资源, 2002, 11(3): 129-139 [Sun Guangrui, Li Yangchun, Zhang Yu. The basement tectonics of Ergun massif [J]. Geology and Resources 2002 11(3): 129-139]
- 30 武广, 孙丰月, 赵财胜, 等. 额尔古纳地块北缘早古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义 [J]. 科学通报, 2005, 50(20): 2278-2288 [Wu Guang, Sun Fengyue, Zhao Caisheng, et al. The discovery of Early Paleozoic post-collision granites in the northern edge of Ergun block and its geological significance [J]. Chinese Science Bulletin, 2005 50(20): 2278-2288]

Application of REE Geochemical Characteristics of Sandstone to Study on Provenance a case from the Middle Jurassic of Mohe Basin in Northeast China

HOU Wei¹ LU Zhao-jun² HE Yu-ping³ HE Zhong-hua²
ZHANG Zhi-ming⁴ BA I Tong⁵ DONG De-sheng⁵

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130063; 3. CNOOC Research Center, Beijing 100027;

4. Drilling and Production Technology Research Institute, Liaohe Oilfield Company Petrochina, Panjing Liaoning 124010;

5. Exploration and Development Research Institute, Liaohe Oilfield Company Petrochina, Panjing Liaoning 124010)

Abstract Based on analyses of the samples in detail, the REE geochemical characteristics of the Middle Jurassic sandstone in Mohe Basin are described. The results indicate: (1) The LREE content obviously enriches compared with the HREE content and with negative Eu anomalies shown in the chondrite aerolite standard pattern of sandstone of Xu Feng, E Muerhe and Kai Kukang Formations. However, Er Shierzhan Formation is obviously different from them. Little negative Eu anomalies is shown in the chondrite aerolite standard pattern of sandstone of Er Shierzhan Formation, which reflects the sandstone is from different provenance. (2) The provenance of the Middle Jurassic Sandstone in Mohe Basin may be felsic rocks of upper crust including granites, metamorphic rocks and sediments. During the deposition of the Er Shierzhan Formation and E Muerhe Formation, some materials may be from the deep lower crust or mantle and leads to the great change of Provenance. (3) The tectonic settings of provenances of the Middle Jurassic Sandstone in Mohe Basin is the island arc of the margin of active continent. (4) The Ce/Ce^* and Ce_{anom} indexes indicate that the palaeoenvironment of the Middle Jurassic in Mohe Basin was a reduction environment and is profitable for the oil and gas formation.

Key words Mohe Basin; Middle Jurassic; sandstone; REE; provenance; palaeoenvironment